

Ingrid Astrup

Fuktindekser som hjelpemiddel i fuktprosjektering

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Tore Kvande

Medveileder: Jørn Emil Gaarder

Juni 2022

Ingrid Astrup

Fuktindekser som hjelpemiddel i fuktprosjektering

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Tore Kvande
Medveileder: Jørn Emil Gaarder
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Det siste århundret har årsmiddeltemperaturen i Norge steget med omtrent 1°C på grunn av klimaendringer og dette har også ført til hyppigere og kraftigere nedbør. Hovedårsaken til fuktskader i yttervegger i Norge i dag skyldes nedbørspåkjenning. Et varmere og våtere klima vil få store konsekvenser for andelen fuktskader i bygninger i fremtiden dersom det ikke innføres ytterligere tiltak for klimatilpasning i dagens fuktprosjektering. I mål om klimatilpasning er klimaindeksener ansett å være et nyttig verktøy. I dag er slagregnindeksen (I_{Θ}) og råteindeksen (SI) allerede kjent i Norge. I Canada er det utviklet en fuktindeks, *Moisture index* (MI), som er satt sammen av luftens tørkepotensiale (DI) og fukttilførsel (WI). MI er anvendt i bygningsregelverket i Canada og det er derfor ønskelig å vurdere om den kan anvendes i den norske fuktprosjekteringen.

I denne masteroppgaven er I_{Θ} , SI og MI beregnet basert på klimaparametre i «*Moisture Design Reference Year*» (MDRY) for 12 byer i Norge for å vurdere hvordan MI rangerer klima sammenlignet med de to andre fuktindeksene. Disse klimaparametrene er de samme som er anvendt i fuktsimuleringsprogrammet WUFI Pro. MI utledes basert på 5 ulike måter å normalisere indeksen på. Sensitivitetsanalyser er brukt for å belyse forskjellene mellom fuktindeksene. Det gjennomføres fuktsimuleringer av responsen til en ett-trinnstettet pusset fasade mot verste fasaderetning for slagregn for seks ulike byer i WUFI Pro. Simuleringene gjennomføres med og uten fuktkilde for gjennomtrenging for slagregn. To utvalgte fuktindikatorer; gjennomsnittlig vanninnhold (VI) i OSB-platen midt i veggen og muggvekstindeksen (MuI) i ytterkant av platen benyttes til å rangere responsen til ytterveggen. Disse sammenlignes mot fuktindeksenes rangering av byer. I tillegg er beregningsgrunnlaget MDRY klimafilene vurdert opp mot normalperioden 1961 – 1990 og 1991 – 2020 for å vurdere endring i ekstremitet i fuktdimensjoneringsårene.

Beregningene viser at valg av normalisering og hvordan MI defineres har stor innvirkning på rangeringen av klimapåkjenninger i byer. Blant de fem valgte måtene å utlede MI, vil MIs rangering der fukttilførselen settes lik verste fasaderetning mot slagregn ha best korrelasjon med rangeringen til de to fuktindikatorerne i simuleringene. I_{Θ} alene viser seg å ha best korrelasjon med fuktindikatorernes rangering. Det største avviket i MIs rangering sammenlignet med de to andre fuktindeksene, er rangeringen av kalde klima. Karasjok rangeres høyere blant de 12 byene basert på MI enn SI og I_{Θ} . Dette skyldes at luft med lave temperaturer har liten evne til å oppta vanndamp og derfor har dårligere tørkekapasitet. På grunn av klimaendringer de siste tredivet årene er MDRY klimafilene som er benyttet i dagens fuktprosjektering mindre ekstreme sammenlignet med den nyeste normalperioden.

Basert på analysene i oppgaven synes det ikke at MI tilfører fuktprosjekteringen noe utover det I_{Θ} og SI allerede gjør i dag. Det anses som viktigere å fokusere på å oppdatere både MDRY klimafilene og I_{Θ} som i dag er basert på perioden 1961 - 1990. I tillegg burde det utvikles klimapåslag for I_{Θ} for å ta hensyn til fremtidige klimaendringer.

Summary

Over the last century, the average annual temperature has increased by about 1 °C in Norway leading to more frequent and heavier precipitation. Precipitation is considered to be the main contributor to moisture-related problems in exterior walls in Norway. A warmer and wetter climate will have major consequences for building envelopes due to moisture damages if not further measures to achieve climate adaptation in moisture management are implemented. For this purpose, climate indices are considered to be useful tools. In Norway, both the driving rain index (I_{Θ}) and the Scheffers index (SI) are already well-known. The moisture index (MI) was developed in Canada and is composed of a drying index (DI) and a wetting index (WI). MI has been implemented in Canadian building codes and is therefore desirable to assess whether MI can be used in Norwegian moisture management.

The moisture indices I_{Θ} , SI, and MI are calculated for 12 cities in Norway using the “Moisture Design Reference Years” (MDRY) to see how MI ranks climates compared to I_{Θ} and SI. The MDRYs are identical to those used in the hygrothermal simulation program WUFI Pro. MI is calculated with five different normalization schemes. A sensitivity analysis is used to highlight the differences between the moisture indices. Hygrothermal simulations for six cities are performed in WUFI Pro for a plastered facade oriented in the worst direction for driving rain. The simulations are performed with and without a rain leakage moisture source. Two moisture indicators are selected; the average water content in the OSB board in the middle of the wall and the mould growth index on the exterior side of the board. The moisture indicator values are used to rank the cities compared to the moisture indices ranking scheme. Since the MDRYs were developed during the 1990s, the average annual temperature and yearly total precipitation are compared to the climate normals of 1961-1990 and 1991-2020 to assess the change in the extremity of the MDRYs.

The normalization scheme and the definition of MI have a major impact on how MI ranks the climates. The normalization scheme for MI using the worst driving rain orientation has the strongest correlation with the ranking from the simulated moisture indicators. For the three investigated moisture indices, I_{Θ} correlates best with the simulations. How MI ranks cold climates appears to be the largest discrepancy compared to SI and I_{Θ} . MI ranks cold climates with a higher moisture load compared to SI and I_{Θ} . This is due to the lower ability of air to absorb water vapour at low temperatures, therefore, having a lower drying capacity. The MDRYs used in today’s moisture management are less extreme compared to the present climate normal (1991-2020) due to climate change in the last 30 years.

MI does not appear to provide additional capabilities for moisture management compared to I_{Θ} and SI. Because the MDRYs and I_{Θ} are currently based on the 1961-1990 climate normal period, it is deemed more important to focus on updating these. It is also considered important to develop I_{Θ} to account for future climate changes.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2022 for Institutt for Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim under fagemnet TBA4905 Bygnings- og materialteknikk. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og utgjør det avsluttende arbeidet ved den toårige sivilingeniørutdanningen.

Masteroppgaven er et videre arbeid fra prosjektoppgaven “*Fuktindeks. Bruk i fuktprosjektering av bygninger*” ved emnet TBA4521 Bygnings- og materialteknikk på 7,5 studiepoeng. Prosjektoppgaven er lagt ut som notat “No. 141” på Klima 2050 sine sider og er tilgjengelig for konsortiet.

Jeg vil gi en stor takk til hovedveileder Tore Kvande og medveileder Jørn Emil Gaarder som har bidratt som diskusjonspartnere, gitt konstruktiv kritikk og oppmuntring gjennom hele prosessen. Jeg vil også takke Stig Geving ved SINTEF for tilgang på nødvendige klimadatafiler.

Helt til slutt; en siste takk til oppløste coronarestriksjoner, Trondheim og alle menneskene rundt meg som har gjort dette mastersemesteret til en helt fantastisk avslutning som student i Trondheim!

Trondheim, 9. juni 2022



Ingrid Astrup

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Summary	iii
Forord	v
Figurliste	ix
Tabelliste	x
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Prosjektoppgave - Fuktindeks. Bruk i fuktprosjektering av bygninger	2
1.3 Formål	2
1.4 Begrensninger	5
1.5 Definisjoner	6
2 Teori	9
2.1 Klima i Norge	9
2.2 Fuktindekser	12
2.3 Moisture index (MI)	12
2.4 Råteindeks (SI)	20
2.5 Slagregnindeks (I_{Θ})	22
2.6 Nedbørsintensitet (IVF)	28
2.7 Bruk av klimadata ved fuktberegninger	29
3 Metode	33
3.1 Litteraturstudie	33
3.2 Beregning av fuktindekser	34
3.3 Normalverdier	38
3.4 Fuktsimulering av yttervegg	39
3.5 Sensitivitetsanalyse av klimaparametre	43
3.6 Styrker og svakheter ved metodene	44
4 Resultater	49
4.1 Moisture index (MI)	49
4.2 Råteindeks (SI) og slagregnindeks (I_{Θ})	52
4.3 Fuktindikatorer i yttervegg	53

4.4	Klimaparametre mot normalverdier	57
5	Diskusjon	59
5.1	Anvendelse av fuktindekser i fuktprosjektering av bygninger i dag	59
5.2	Forskjellen mellom fuktindeksene MI, SI og I_{Θ}	61
5.3	Videre bruk av fuktindekser i fuktprosjektering	75
6	Konklusjon	79
	Referanser	81
	Vedlegg	86
A	Beregning og grafer av moisture index (MI)	87
B	Beregninger råteindekser (SI)	95
C	Beregninger slagregnindekser (I_{Θ})	101
D	MDRY klimafilenes avvik fra normalverdier	114
E	Informasjon og input i WUFI Pro	115
F	Sensitivitetsanalyser for Trondheim	120
G	Resultater fuktsimuleringer for seks geografiske plasseringer	126

Figurliste

1	Flytskjema av hvordan forskningsspørsmålene besvares i oppgaven	4
2	Årsmiddeltemperaturer i luften i perioden 1971 - 2000	10
3	Köppens klimasoner	11
4	Gjennomsnittstemperaturer i Norge fra år 1900 til i dag	12
5	Plot av WI_N og $(1 - DI_N)$	16
6	Potensiell råtefare for perioden 1961 - 1990 og 2071 - 2100	22
7	Kompassrose med inndeling i 10-graderssektorer	24
8	Nedbør- og slagregnkart	25
9	Fasadesystemer med puss på isolasjon	28
10	IVF-verdier for Oslo (Blindern)	29
11	Stolpediagram av DI og WI for 12 byer i Norge	49
12	Stolpe- og linjediagram som illustrerer sammenhengen mellom DI, WI og MI. 51	
13	Beregnet råteindeks (SI) og innhentet verdier fra litteraturen	53
14	Beregnet slagregnindeks, I_{Θ} , og innhentet indekser fra Byggforsk	53
15	Forholdet mellom fuktindikator og fuktindekser	56
16	Sensitivitetsanalyse av tørkeindeks, DI	63
17	Sensitivitetsanalyse av MI	64
18	Sensitivitetsanalyse av slagregn- og råteindeks	66
19	Sensitivitetsanalyse av fuktindikator	69
20	Avvik i temperatur og nedbør fra normalperioden 1961 - 1990	70
21	Avvik i temperatur og nedbør mot de to siste normalperiodene	72
22	Kontroll av råteindeksen mot normalverdier	73
23	Råteindeksens fordeling per måned for Bergen og Tromsø	74
24	Årlig nedbør og slagregnindeksens avvik fra normalperioden 1961 - 1990 . .	75

Tabelliste

1	Relevante definisjoner og forkortelser	6
2	Intervaller med MI.	17
3	Relevante punkter i NBC	19
4	Råteindeks for ulike byer basert på perioden 1960 - 1991	21
5	Klimasoneinndeling basert på slagregnpåkjening	24
6	Slagregndeks fra Byggforskserien	25
7	Pusstyper og tilhørende anbefalt klimasone basert på slagregn	27
8	Søkestrenger for søk etter relevant litteratur.	33
9	Geografiske plasseringer i MDRY klimafile	35
10	Normaliseringsordning for DI og WI	37
11	Oversikt over tidsopløsning og valgte værelementer for normalverdier . . .	38
12	Materialsjikt og tilhørende tykkelser og startfuktinnhold.	40
13	Fasadeorientering for hver av de seks simulerte byene	41
14	Innstillinger benyttet i programtillegget WUFI Mould Index VVT 2.1. . . .	43
15	Rangering av byer basert på de fire utvalgte normaliseringsordningene . . .	52
16	Fuktindikatorer og verdier for ytterveggen simulert med fuktkilde.	54
17	Korrelasjonskoeffisienter mellom de ulike fuktindeksene og fuktindikatorer .	54
18	Årsmiddeltemperatur og årlig nedbør sammenlignet med normalverdier . .	57
19	Slagregndeksenes prosentvise avvik fra normalperioden 1961 - 1990	58
20	Råteindeksers prosentvise avvik fra normalperioden 1961 - 1990	58
21	Fuktindeksenes anvendelse i fuktprosjektering basert på litteraturen	60
22	Fuktindeksenes anvendelse av klimaparametre	62

1 Introduksjon

Klimaendringer er en enorm trussel for menneskers natur og velferd, og det forventes at temperaturen vil i løpet av de neste 20 årene passere 1,5 grader oppvarming om dagens utslippstakt fortsetter (FN, 2022). Klimaendringer vil føre til mer nedbør og mer ekstremvær enn tidligere og dette er noe byggebransjen må tilpasse seg;

”Vêret er det vi kler oss for, medan klimaet er det vi bygger for” (Meteorologisk institutt, 2020).

Det bebyggete miljøet er i stor grad sårbar for klimaendringer og det er derfor helt essensielt at byggebransjen revurderer behovet for insentiv for tilpasning til de fremtidige klimautfordringene (Klima 2050, u.å.). Bygningene må i større grad utføres mer robust i møte med klimaendringene.

1.1 Bakgrunn

I dag er omtrent 60 til 80 % byggeskader i Norge i sammenheng med fukt (RIF, 2015, s. 7). I tillegg opptar nedbør 40 % av fordelingen blant alle fuktskadekildene som er rapportert i SINTEFs skadearkiv i perioden 2017 til 2020 (Bunkholt *et al.*, 2021). Blant fuktskadene i bygninger anses derfor nedbør som skadeversten. Når det forventes økte nedbørsmengder i fremtiden, blir behovet for klimatilpasning desto viktigere (Bunkholt *et al.*, 2021; Miljødirektoratet, 2019). Dette krever at praksisen ved nybygging og vedlikehold av eksisterende bygninger endres, slik at det kan innhentes kunnskap om lokalklima og byggeskikk på et hvert sted og foreta gode valg knyttet til den spesifikke byggesaken (Miljødirektoratet, 2019).

Per i dag er bygningslovverket funksjonsbasert og dette gjør at det er opp til hver enkelt byggherre å påse at byggene er godt nok rustet for klimaendringene (Gjære, 2019). Klima 2050 jobber med å utvikle et rammeverk som omhandler klimatilpasning, hvor tanken er at rammeverket skal sortere verktøyene, informasjonen og dataene som finnes, og beskrive hva som egner seg best i byggeprosjektenes ulike faser.

Fordi klimapåkjenninger mange steder i Norge er harde kan det være nødvendig å fraråde løsninger og materialer som ikke innehar ønsket levetid i disse klimaene (Lisø, 2006). I mål om geografisk differensiert bygningsutforming anses det ikke som nok å basere geografisk differensierte valg basert på generaliserte klimabeskrivelser som for eksempel “kalde områder” eller “vindutsatte områder”. I henhold til Lisø og Kvande (2007) finnes det ingen prosjekteringsmetodikk eller lastinndeling for dimensjonering mot fuktproblemer slik det finnes for snø- og vindlast, og temperaturendringer ved prosjektering av konstruksjoner. På grunnlag av dette har klimaindekser har derfor blitt introdusert som et verktøy for å lettere foreta valg som er tilpasset det lokale klima.

I dag finnes det opptil flere klimaindeksener som er med på å legge grunnlag for en geografisk differensiert bygningsutforming av klimaskjermer. Eksempler på dette er frostnedbrytningsindeksen for porøse bygningsmaterialer, råtefareindeksen og slagregnindeksen (Øyen *et al.*, 2010, s. 24). Disse klimaindeksene brukes til å ta kvalitative og kvantitative vurderinger knyttet til bygningskallets ytelse eller nedbrytningshastigheter (Lisø *et al.*, 2017, s. 631). I tillegg kan de benyttes til å definere konkrete ytelseskrav (Øyen *et al.*, 2010, s. 25) og til å presentere fremtidige klimascenarier (Lisø, 2006).

Basert på dagens omfang av fuktskader, store geografiske variasjoner i Norge, og pågående klimaendringer, er det helt tydelig at det er behov for et strukturert rammeverk som ivaretar klimatilpasning både på lokalt nivå og for fremtidig scenarier i dagens fuktprosjektering. Fuktindeksener kan være et viktig verktøy som del av et slikt rammeverk. For å bruke fuktindeksener videre for å ivareta klimatilpasning er det både nødvendig å evaluere allerede anvendte fuktindeksener i dag og se til internasjonale løsninger.

1.2 Prosjektoppgave - Fuktindeks. Bruk i fuktprosjektering av bygninger

I forkant av denne masteroppgaven er det skrevet en prosjektoppgave som omhandler bruken av *Moisture index* (MI) i Canada (Astrup, 2021). Prosjektoppgaven innebar å kartlegge opprinnelsen av MI, hvordan den brukes i det canadiske regelverket, hvordan det norske regelverket forholder seg til fuktprosjektering og hva som eventuelt må til for å kunne implementere MI i den norske fuktprosjekteringen.

Kort oppsummert er MI satt sammen av to indekser, henholdsvis *Wetting index* (WI) og *Drying index* (DI) (Cornick *et al.*, 2002). MI tar derfor for seg tilførselen av fukt gjennom regn og luftens evne til å fordampe fuktighet. Formelverk og teori relatert til MI vil beskrives videre i kapittel 2. MI benyttes som en del av fuktprosjekteringen i det canadiske bygningsregelverket, *National Building Code of Canada* (NBC) (National Research Council of Canada, 2015). NBC har brukt MI til å angi behovet for *capillary break* bak kledningen i yttervegger og behovet for trykkimpregnering av eksponert bærende treverk. Basert på funnene i prosjektoppgaven, anses MI å oppta liten plass i regelverket, sett i sammenheng med antallet ytelseskrav oppgitt i NBC.

1.3 Formål

Etter å ha gjennomført et litteraturstudium angående hvordan MI er benyttet i det canadiske regelverket, er det interessant å se videre på beregning av MI med klimadata for Norge og vurdere hvordan MI rangerer byer basert på det norske klimaet.

Formålet med denne masteroppgaven er å vurdere bruken av MI i Norge. Dette innebærer å se på MI sammenlignet med råte- og slagregnindeksen, som allerede er ansett som kjent

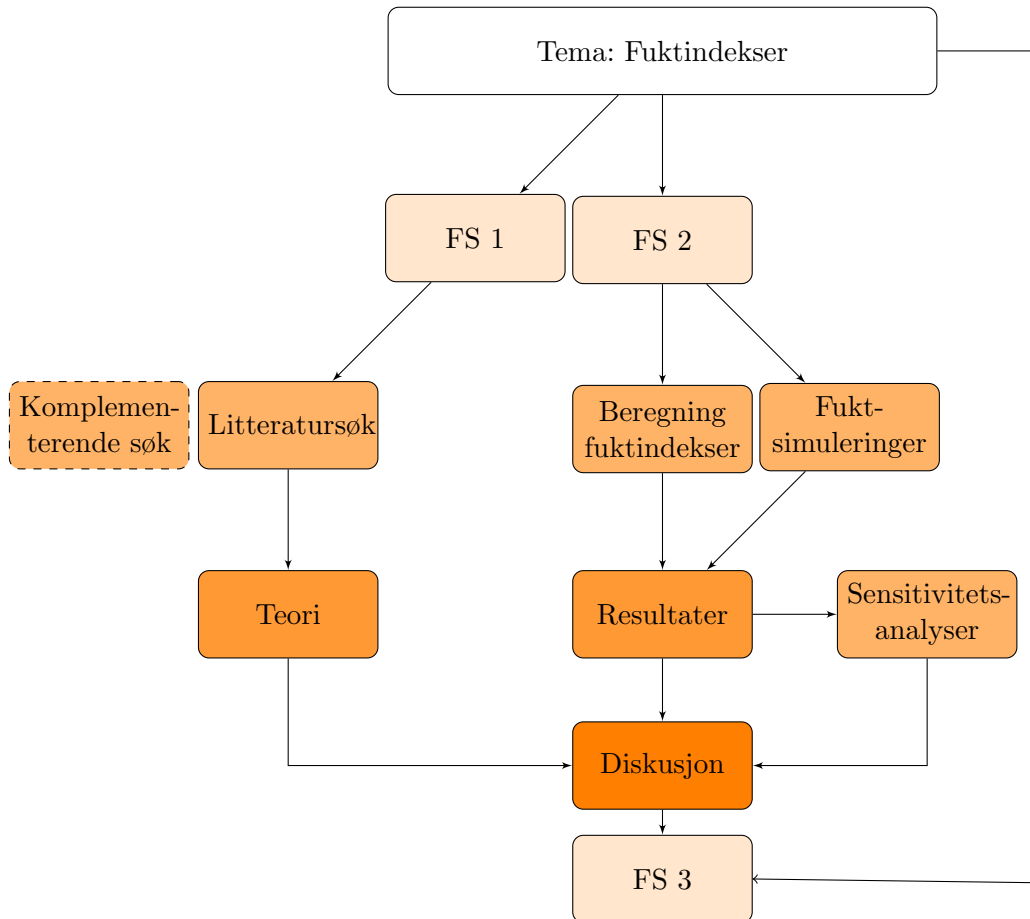
i Norge i dag. Bruken av disse tre ulike fuktindeksene til fuktprosjektering skal derfor kartlegges. I tillegg skal WUFI Pro benyttes til å vurdere fuktindeksenes rangering av klima sammenlignet med fuktforholdene i en simulert yttervegg basert på et par fuktindikatorer. Det settes opp tre ulike forskningsspørsmål som skal besvares.

Forskningsspørsmål:

1. *Hvordan kan fuktindekser benyttes i fuktprosjektering av bygninger?*
2. *Hva er forskjellene mellom Moisture index (MI), råteindeksen (SI) og slagregnindek-
sen (I_{Θ})?*
3. *Hva skal til for at de ulike fuktindeksene skal kunne benyttes i fuktprosjektering av
bygninger i Norge?*

Figur 1 illustrerer hvordan de tre forskningsspørsmålene besvares i oppgaven representert som et flytskjema. Forskningsspørsmål 1 (FS1) dekkes i hovedsak basert på litteratursøk og teorien innhentet angående de ulike fuktindeksene. Forskningsspørsmål 2 (FS2) besvares basert på beregning av de tre indeksene og hygrotermiske simuleringer i WUFI Pro av en utvalgt yttervegg. I tillegg gjennomføres det ulike sensitivitetsanalyser av resultatene som presenteres som en del av diskusjonen. Forskningsspørsmål 3 (FS3) besvares som en del av diskusjonen etter litteraturen er innhentet, og beregninger og analyser er gjennomført og vurdert.

Under Vedlegg er det vedlagt informasjon og input, beregninger og supplerende resultater som underbygger oppgavens helhet.



Figur 1: Flytskjema av hvordan de tre forskningsspørsmålene (FS) besvares i oppgaven. FS1 dekkes som en del av teorien, FS2 knyttes i hovedsak til resultatene fra beregningene og analysene, og FS3 besvares basert på alle funn i oppgaven som en del av diskusjonen. Sensitivitetsanalysene av beregninger presenteres som en del av diskusjonen.

1.4 Begrensninger

For å begrense omfanget av oppgaven er kun klimaindeksener som relateres til fuktprosjektering basert på fukt i utendørs luft omfattet. Frostdimensjonering er derfor ikke en del av oppgavens omfang. Dette medfører også at både fukt fra inneluft og fukt fra grunnen, samt fukt i sammenheng med våtromprosjektering også frafaller.

Beregningene av fuktindeksene er gjort basert på klimafilene som ligger integrert i fuktdimensjoneringsprogrammet WUFI Pro. Fuktindeksene er derfor kun beregnet basert på klimadata fra fuktdimensjoneringsår og ikke normalår. I tillegg er fuktindeksene kun beregnet for 12 byer i Norge, fordi det kun finnes 12 slike klimafilene for Norge i WUFI Pro.

Beregning av fuktforhold er begrenset til en utvalgt yttervegg, hvor simuleringene er kun gjennomført for 6 av de 12 byene. Et par fuktindikatorer er utvalgt for å gjøre det mulig å vurdere hvordan klimaene rangeres sammenlignet med de tre ulike fuktindeksene. Det er ikke gjennomført en full fuktanalyse av ytterveggenes forhold for å forenkle sammenligningen av rangeringen av ytterveggenes respons mot fuktindeksenes rangering. Effekten av solstråling og innvendig fuktforhold er heller ikke vurdert. Ytterveggen simuleres både med og uten implementert fuktkilde, ellers er alle startbetingelser og selve oppbyggingen av ytterveggen holdt konstant. Det er kun det utvendige klimaet som endres i analysen. Resultatene fra fuktsimuleringene begrenser seg derfor kun til å gjelde denne spesifikke ytterveggoppbyggingen. Helse, komfort eller økonomi er heller ikke vurdert som følge av utvendige fuktpåkjenninger.

Sensitivitetsanalysene gjennomført for fuktindeksene og fuktsimuleringene er kun gjennomført for klimafilen Trondheim.

1.5 Definisjoner

Sentrale definisjoner og forkortelser i oppgaven er definert nedenfor:

Begreper	
Vær	Betegner fenomenene i nedre del av atmosfæren som vind og nedbør (Seter, 2021).
Klima	Det gjennomsnittlige været over tid (Dannevig & Harstveit, 2022).
Klimatilpasning	Iverksetting av risikovurderinger, planlegging og tiltak som er med på å gjøre samfunnet mindre sårbart for værrelatert risiko knyttet til klimaendringer (Benestad & Lahn, 2021).
Geografisk differensiert utforming	Lokale klimapåkjenninger, der selv variasjoner innenfor korte avstander, ivaretas i bygningsutformingen (Øyen <i>et al.</i> , 2010, s. 6).
Nedbør	Alle former for vann som blir utfelt fra atmosfæren (Yr, sludd, hagl, regn eller snø) (Byggforskserien 451.031, 2013).
Regn	En av flere varianter for nedbør, hvor dråper av vann faller til jordoverflaten (Harstveit, 2021).
Slagregn	Regn som drives av vinden inn mot en vertikal flate (Byggforskserien 451.031, 2013).
Orografisk nedbør	Nedbør som blir utløst som følge av terrengets innvirkning på luftens bevegelse (Sivle, 2017)
Kontinentalt klima	Typisk for indre deler av fastlandet; lite vind, lav luftfuktighet, varme somre og kalde vintre, og moderat nedbør (Harstveit, 2020).
Råte	Betegner soppangrep som svekker trevirke av teknisk betydning i bygningssammenheng (Lisø & Kvande, 2007, s. 36).
Daggradtall	Antall døgn av fyringssesongen multiplisert med differansen mellom en innetemperatur på + 17°C og døgnmiddeltemperaturen på stedet i fyringssesongen (SNL, 2018).
Returperiode	Beskriver et tall for den gjennomsnittlige frekvensen av hendelsen, altså hvor stor sannsynligheten for at en hendelse skal oppstå (Benestad, 2021).
Normalperiode	30-årsperioder som benyttes til å beregne normalverdier i meteorologiske data (Meteorologisk institutt, 2019).

To trinnstetting	Hulrom bak den primære tettingen mot nedbør som er drenerende og ventilerende (Dibk, u.å. §13-12).
Hygrotermisk	En sammensatt virkning av fuktkapasiteten og varmekapasiteten (Aspehaug <i>et al.</i> , 2015, s. 7)
Varmekapasitet	Et mål på hvor fort temperaturendringer i en masse skjer (Byggforskserien 521.112, 2019).

Forkortelser

MDRY	<i>Moisture design reference year</i> ref. fuktdimensjoneringsår
MI	<i>Moisture Index</i>
WI	<i>Wetting index</i> ref. regnindeks
DI	<i>Drying index</i> ref. tørkeindeks
N_{DI}	Normaliseringsverdi (N) for tørkeindeks, DI
N_{WI}	Normaliseringsverdi (N) for regnindeks, WI
w_{sat}	Fuktighet i luften med mettet tilstand
w_{amb}	Fuktighet i luften til den omgivende luften
p	Totalt trykk
V	Damptrykk
SI	<i>Scheffer index</i> ref. råteindeks
I_{Θ}	Slagregnindeks
EIFS	<i>External Insulation Facade System</i>
aDRI	<i>Annual Driving-Rain Index</i>
dDRI	<i>Directional Driving-Rain Index</i>
VI	Vanninnhold
MuI	Muggvekstindeks
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>

2 Teori

I dette kapitlet vil klima og klimasoner i Norge, samt kartlegging av beregning, klimasoner-inndeling og anvendelser av ulike fuktindekser beskrives. I tillegg vil bruk av klimadata ved fuktberegninger presenteres.

2.1 Klima i Norge

Klimaet i Norge er preget av store variasjoner mellom ulike geografiske plasseringer (Dannevig & Harstveit, 2021). Variasjonene skyldes blant annet av markerte fjell- og dalformasjoner og dype fjorder. Fjellformasjonene skjærer deler av innlandet og dette har gjerne en innvirkning på nedbørsfordelingen ulike steder i Norge. Finnmarksvidda og Østlandet innehar typisk et såkalt kontinentalt klima, mens langs kysten forsterkes nedbøret.

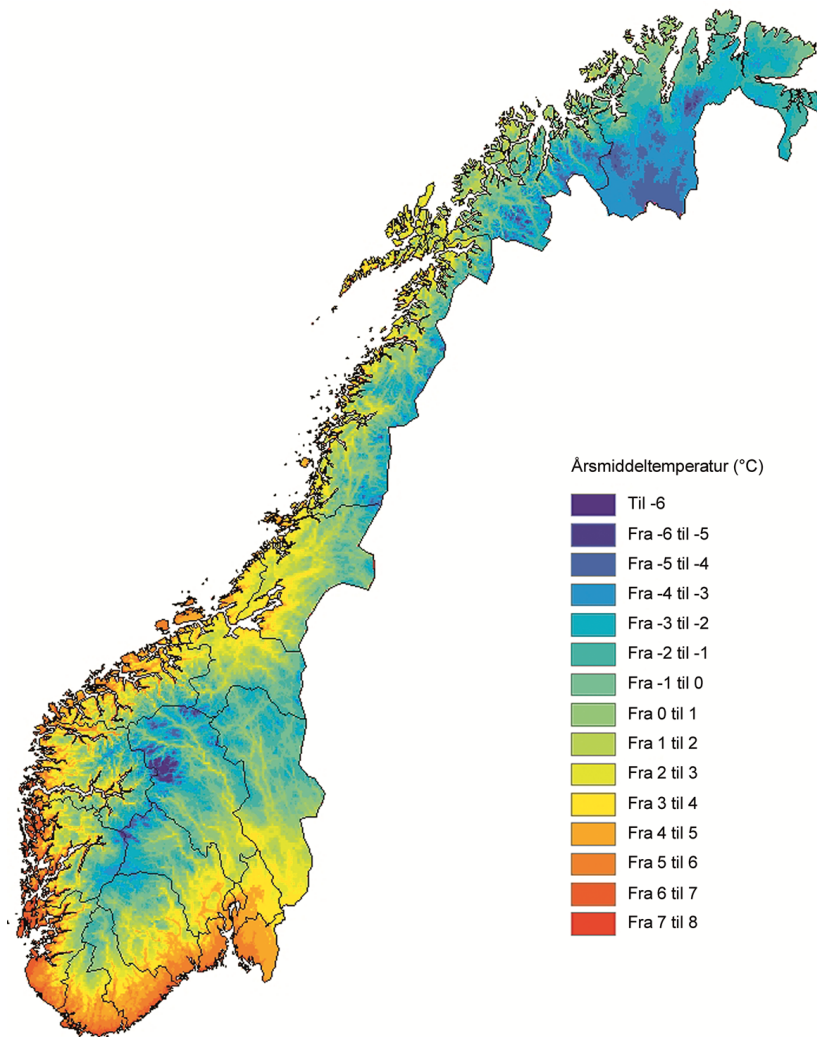
2.1.1 Temperaturer

Fordelingen av temperatur langs med Norge, bærer i henhold til Dannevig og Harstveit (2021) preg av små motsetninger nord og sør sammenlignet. Langs vestkysten ligger årsmiddeltemperaturen rundt 8°C , samt i fjellområder med høyde over havet på mellom 750 og 1000 meter ligger årsmiddeltemperaturen under 0°C . I henhold til Hygen (2008) er høyde over havet en viktigere faktor sammenlignet med breddegraden, da sørlige fjellområder er like kalde som nordlige deler som Finnmarksvidda. Figur 2 illustrer årsmiddeltemperatur i luften i Norge, for perioden 1971 - 2000.

2.1.2 Nedbør og vind

Fordelingen av nedbør avhenger av både topografi og vindforhold (Dannevig & Harstveit, 2021). Det oppstår gjerne mest nedbør langs kysten på grunn av orografisk nedbør (Sivle, 2017), samt fordi strømningsmønsteret frakter luftmasser med stort innhold av vanddamp til områder langs kysten (Hygen, 2008, s. 4). Orografisk nedbør innebærer at fuktig luft tvinges oppover langs fjellformasjoner slik at luften kjøles ned og dermed kan oppnå metningspunktet og felle ut vanndråper (Sivle, 2017). For hele Norge ligger gjennomsnittsnedbøren på omtrent 1400 mm i året (Dannevig & Harstveit, 2021).

Sterk vind oppstår typisk langs kysten og i fjellet (Dannevig & Harstveit, 2021). I tillegg er vinden i Norge særlig påvirket av store skiftninger på grunn av vandrende trykksystemer.

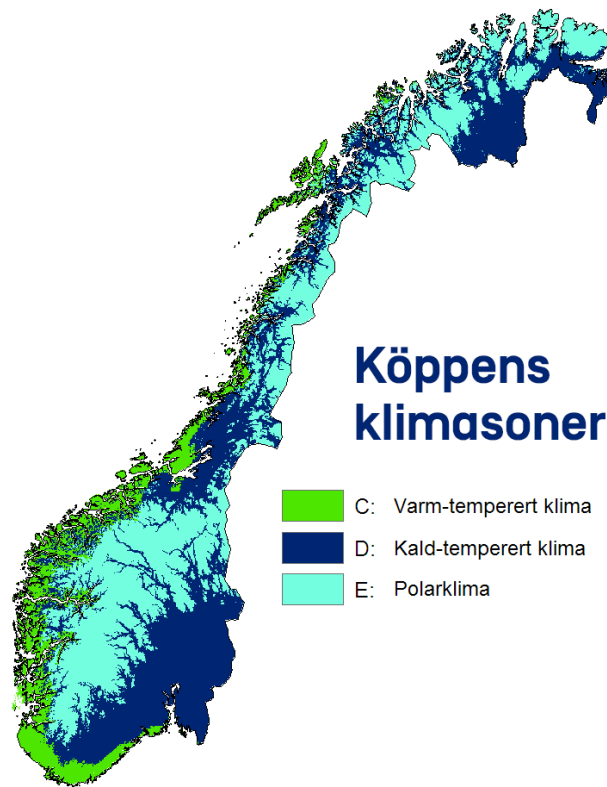


Figur 2: Årsmiddeltemperaturer i luften i perioden 1971 - 2000 (*Byggforskserien 451.021, 2018*).

2.1.3 Klimasoner

Köppens klimaklassifisering er en kjent metode som deler områder inn i ulike klimasoner (Mamen, 2022). Metoden benytter nedbør- og temperaturnormaler i vegetasjonssoner og klimasonene er delt inn i fem hovedgrupper; Tropisk klima, tørt klima, varm-temperert klima, kald-temperert klima og polarklima. Kart over klimasonene er illustrert i figur 3. I Norge er det kategori C, D og E som er aktuelle.

Klimasonekartet illustrert i figur 3 er dog noe utdatert og det vises til at med dagens klima er blant annet Oslo klassifisert innenfor varmt temperert-sone (C), samt Vardø ikke lenger ligger innenfor polar-sone (E) (Mamen *et al.*, 2021). Klimasonene er fortsatt i endring på grunn av klimaendringer som utslag av global oppvarming.

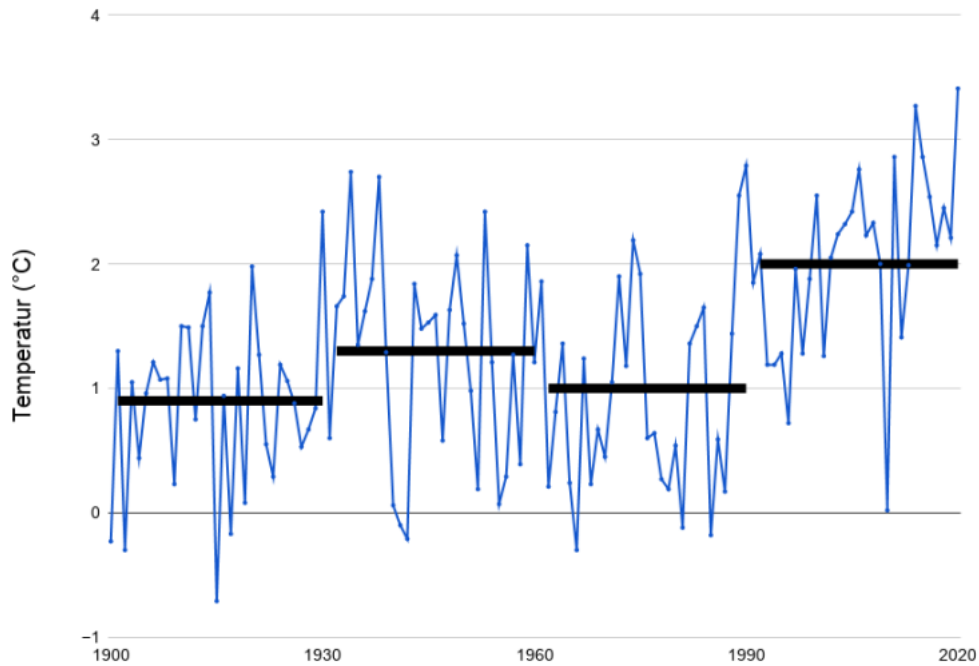


Figur 3: Köppens klimasoner (Mamen, 2022). Kart er basert på tidligere klima i Norge.

2.1.4 Klimanormal

Klimanormal betegnes som et gjennomsnitt av været over en periode på 30 år (Meteorologisk institutt, 2021). Klimanormaler benyttes for å lettere sammenligne ulike klimaer forskjellige steder, samt sammenligne endringer i klima fra tidligere til i dag, og dagens klima opp mot fremtidige klimascenarier. En klimanormal definerer altså det typiske klimaet og er ansett som et godt referansepunkt for tilpasning av infrastruktur opp mot klima.

Figur 4 illustrerer gjennomsnittstemperaturens utvikling i Norge fra begynnelsen av 1900-tallet til i dag. Trenden viser tydelig at den siste normalperioden er varmest. I henhold til Meteorologisk institutt (2021) har også høyere temperaturer i Norge lagt til rette for økt nedbør på grunn av luftens økte kapasitet til å holde på fuktighet. Siden år 1900 har gjennomsnittsnedbøren økt med omtrent 20 % og etter 1980 har Norge hatt både flere dager med nedbør og flere dager med kraftig nedbør. Tidligere har perioden 1961 - 1990 vært benyttet som utgangspunkt for klimanormalen i Norge, men fra og med 1. januar 2021 har perioden 1991 - 2020 vært benyttet for å bedre beskrive dagens klima.



Figur 4: Gjennomsnittstemperaturen i Norge tegnet opp for perioden 1900 til i dag. De svarte strekene illustrerer normalperiodenes omfang, som dekker et tidsspenn på 30 år hver (Meteorologisk institutt, 2021).

2.2 Fuktindekser

Det har ofte vist seg å være vellykket å benytte klimaindekser til å utvikle retningslinjer for bygninger utsatt for harde klima (Lisø *et al.*, 2007, s. 3). Det er utviklet opptil flere ulike klimaindekser som beskriver fuktforholdene i klima og det er derfor interessant å se på en rekke fuktindekser som kan benyttes i bygningsfysisk prosjektering. Videre vil tre ulike fuktindekser presenteres; *Moisture index* (MI) (Cornick *et al.*, 2002), råteindeksen (SI) (Scheffer, 1971) og slagregnindeksen (I_{Θ}) (Byggforskserien 451.021, 2018), samt vil en annen måte å presentere fukttilskudd kalt for regnintensitetskurver (IVF-verdier) presenteres (Norsk Klimaservicesenter, u.å.-b).

2.3 Moisture index (MI)

Den første fuktindeksen som er tatt i bruk i denne oppgaven er utviklet i Canada, med navn *Moisture index* (MI) (Cornick & Dalglish, 2003b). Bakgrunnen og bruken av MI i det canadiske regelverket er beskrevet i forarbeidet til denne masteroppgaven (Astrup, 2021). Teorigrunnlaget bak beregning av MI, samt bruken av indeksen til ulike formål vil videre presenteres i dette kapitlet.

MI ble originalt utviklet av et forskningsutvalg ved navnet *Moisture Management for Exterior Wall systems* (MEWS) (Beaulieu *et al.*, 2002). Utvalget ble opprettet i 1998 av

National Research of Canada (NRC), der målet var å utvikle retningslinjer for fuktprosjektering av yttervegger for lave boligbygninger i Nord-Amerika (Beaulieu *et al.*, 2002). Som en del av prosjektet, ble fuktindeksen definert basert på tidligere arbeid av Bailey (1958), Thornthwaite (1948) og andre forgjengere. MEWS definerte fuktindeksen som *Moisture Index* (MI), der indeksen ble satt sammen av to indekser, henholdsvis *Wetting Index* (WI) og *Drying Index* (DI). WI definerer fukttilskudd og DI fukttap.

2.3.1 Wetting index, WI

WI angir hvor stort oppfukningspotensialet for en yttervegg er (Cornick *et al.*, 2002, s. 7). Det er mange klimafaktorer som spiller inn ved vurdering av regnpåkjeningen på en yttervegg, deriblant; vindretning og -hastighet, størrelse og geometri på bygget, fasadens orientering og omkringliggende hindringer som vegetasjon, andre bygninger og topografi (Byggforskserien 451.031, 2013). MEWS har valgt å forenkle definisjonen av WI da det mange steder i Canada ikke finnes tilgjengelig klimadata for vindretninger og -hastigheter (Cornick *et al.*, 2002, s. 8). WI defineres derfor til årlig total regnmengde.

En annen måte å definere WI er å benytte en årlig slagregnindeks (aDRI) eller slagregnindeks i henhold til hovedvindretning (dDRI) (Cornick & Dalgliesh, 2003b). Cornick *et al.* (2003, s. 1371) presiserer at WI må ta veggens orientering mot slagregn med i betraktning dersom en spesifikk veggorientering skal vurderes for et mer realistisk bilde av fuktpåkjeningene. Det rapporteres også at ulike metoder for å definere verste slagregnetning er i generell enighet og det da ikke har mye å si hvilken metode som benyttes. Metodene rapportert er Lacys metode, Straubes metode og LIF-CFD metoden, som alle er metoder å definere verste slagregnetning og slagregnmengder.

2.3.2 Drying index, DI

DI angir tørkepotensialet til en yttervegg når den først er utsatt for oppfukning (Cornick *et al.*, 2002, s. 8). Fordi det kan være komplisert å innhente tilgjengelig data for å beskrive fordampningsprosessen basert på avanserte modeller, har MEWS forenklet en såkalt II-faktor metode (Cornick *et al.*, 2002, s. 9). Metoden er nærmere beskrevet i arbeidet til Cornick *et al.* (2002, s. 9).

DI kan beregnes basert på timesverdier for temperatur og relativ fuktighet (Cornick *et al.*, 2002). Det er også mulig å beregne DI ved hjelp av årlig gjennomsnittlige verdier for temperatur og relativ fuktighet dersom det ikke er mulig å innhente timesverdier. DI defineres ved hjelp av fuktighetsforholdet mellom mettet og faktisk tilstand i luften. Dette vil si at DI er et mål på luftens ledige kapasitet til å oppta vanndamp (Cornick *et al.*, 2003, s. 1369). Videre defineres formlene som er benyttet til å beregne DI. Ligning 1 definerer fuktigheten i luften:

$$w(t) = 0,622\left(\frac{V(t)}{p - V(t)}\right)[\text{kg}_{\text{vann}}/\text{kg}_{\text{tørr luft}}] \quad (1)$$

Der:

$$p = \text{totalt trykk, } 101,1 \text{ kPa}$$
$$V = \text{damptrykk [Pa]} = [\text{kg } \frac{1}{\text{ms}^2}]$$

Fuktigheten w ved både mettet og faktisk tilstand i luften beregnes for hver time. Luftfuktigheten, w , kan også omtales som fuktgrad, som angir vanddampmasse x per kg tørr luft (Thue, 2016, s. 50-51). Konstanten 0,622 er hentet inn basert på forholdet mellom relativ molekylmasse for vanddamp og tørr luft. Videre beregnes forholdet mellom mettet og omgivende tilstand ved ligning 2 (Cornick & Dalglish, 2003a; Gaur *et al.*, 2021; Jeong & Cannon, 2020):

$$\Delta w(t) = w_{\text{sat}}(t) - w_{\text{amb}}(t)[\text{kg}_{\text{vann}}/\text{kg}_{\text{tørr luft}}] \quad (2)$$

Der:

$$w_{\text{sat}} = \text{mettet tilstand}$$
$$w_{\text{amb}} = \text{tilstanden til den omgivende luften}$$

For å beregne w_{amb} må verdier for relativ fuktighet (RF) benyttes (Cornick & Dalglish, 2003b, s. 167).

Årlig DI beregnes så videre basert på ligning 3. Alle beregnet timer summeres, og enheten omgjøres fra kg/kg til g/kg ved å multiplisere med 1000 (Gaur *et al.*, 2021). Uttrykket skaleres også etter antall år (n) som er tatt med i betraktning. Det er også mulig å beholde enheten kg/kg, hvor da leddet 1000 neglisjeres (Cornick & Dalglish, 2003b, s. 159).

$$DI = \sum_k \left(\frac{\Delta w(t)}{n} \times 1000\right)[\text{g}_{\text{vann}}/\text{kg}_{\text{tørr luft}}] \quad (3)$$

Der:

$$n = \text{antall år tatt med i betraktning}$$
$$k = \text{antall timer i året}$$

2.3.3 Normalisering av WI og DI

Når WI og DI skal benyttes som indekser til å definere MI, er det nødvendig å normalisere indeksene (Cornick *et al.*, 2002). En måte å normalisere indeksene er å benytte minste og største verdi i prøvesettet. Dette gjør at normaliseringen avhenger av hvilke observasjonsstasjoner som benyttes i sammenligningen. Ligning 4 definerer en måte å normalisere WI og DI på (Cornick *et al.*, 2002; Cornick & Dalglish, 2003b):

$$I_N = \frac{(I - I_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})} \quad (4)$$

Der:

N = normalisert

I = indeks, henholdsvis enten DI eller WI

Enkeltverdier kan også benyttes ved normalisering av WI og DI. Jeong og Cannon (2020) og Gaur *et al.* (2021) benytter verdiene 4,35 g/kg og 1000 mm for henholdsvis DI og WI. Verdien 4,35 g/kg tilsvarende tørkekapasiteten i Lytton i British Columbia i Canada, som er ansett til å være det stedet med høyest tørkekapasitet. Cornick og Dalglish (2003b, s. 171) velger også å benytte 2000 mm ved normalisering av WI, da det er valgt å anse alle observasjonsstasjoner med mer enn 2000 mm nedbør til å være spesielt våte. DI og WI divideres med hensyn på de konstante normaliseringsverdiene for å skalere verdiene, gjøre dem enhetsløse og dermed sammenlignbare.

2.3.4 Utledning av MI

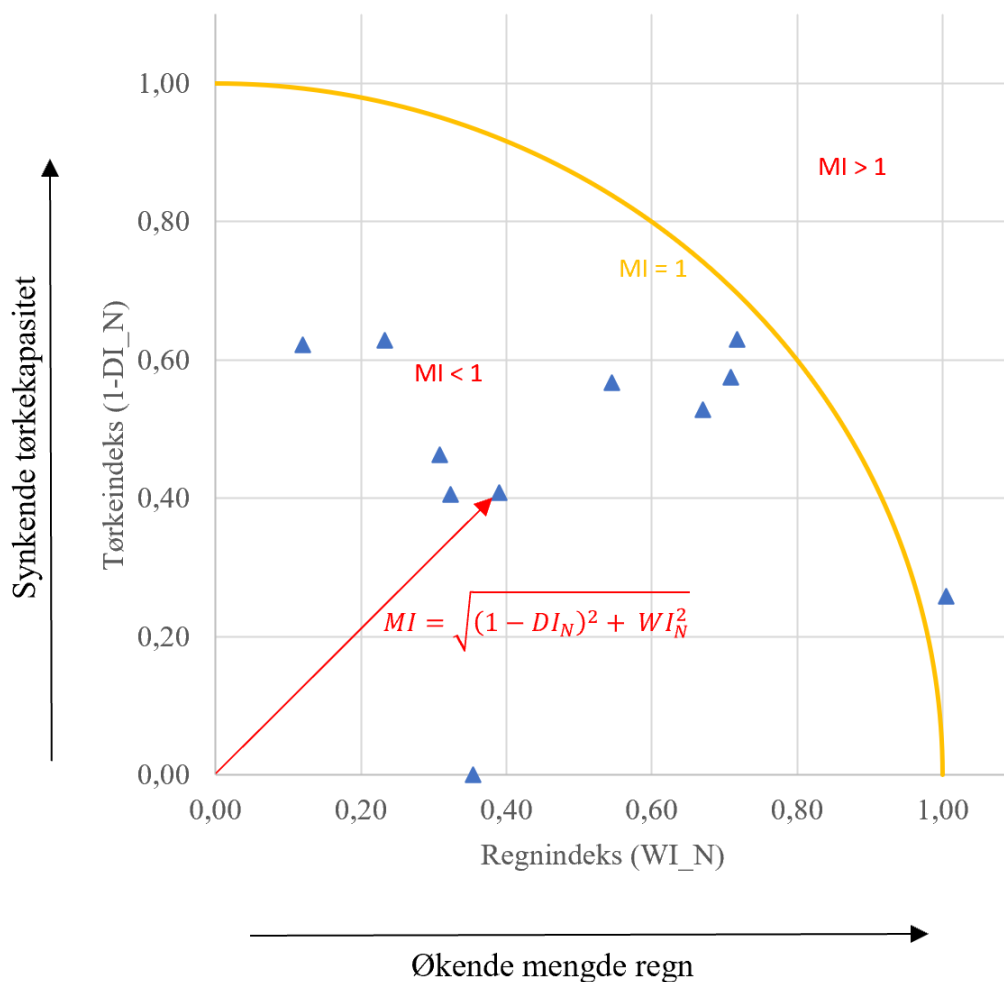
MI utledes deretter videre basert på beregning av DI og WI, slik definert ovenfor. MI slik MEWS har definert den, kan beregnes basert på følgende formel (Cornick & Dalglish, 2003b, s. 165):

$$MI_{\text{MEWS}} = \sqrt{WI_N^2 + (1 - DI_N)^2} \quad (5)$$

Vekting av WI_N DI_N er gitt i 1:1 forhold, men i henhold til Cornick og Dalglish (2003b) er det ikke vitenskapelig bevist at den valgte vektingen er korrekt. Valget er gjort med hensyn til at MI ikke vurderer veggens respons.

Figur 5 viser hvordan indeksene er satt inn i et aksesystem. MI er angitt av avstanden fra origo til et vilkårlig punkt gitt av $(1 - DI_N)$ og WI_N , der et punkt tilsvarende en observasjonsstasjon. X-aksen angir økende regnbelastning, mens Y-aksen angir synkende tørkekapasitet fordi DI_N er substituert fra 1. Fremstillingen kan knyttes til analogien til Mohrs sirkel (Cor-

nick & Dalgliesh, 2003b, s. 171), der alle punkter langs en radius har samme MI-verdi. Dette gjør at steder med ulik tørkekapasitet og regnbelastning kan ende opp med samme MI-verdi, tross ulike klimatiske forhold. Hypotesen til MI er likevel at steder med lik MI-verdi har samme potensiale for fuktskader. Figuren er inspirert av Cornick og Dalgliesh (2003b, s. 166) og National Research Council of Canada (2015, s. C-7).



Figur 5: Plot av WI_N plottet mot $(1-DI_N)$, hvor MI beregnes som avstanden fra origo til en utvalgt observasjonsstasjon, som tilsvarende et vilkårlig punkt illustrert med blå trekant. Figur er inspirert av Cornick og Dalgliesh (2003b, s. 166) og National Research Council of Canada (2015, s. C-7). [Egenprodusert figur]

2.3.5 Klimasoneinndeling

MI er først og fremst benyttet til klimasoneinndeling av fuktpåkjenninger, som er et mulig verktøy ved fuktprosjektering av bygninger. En måte å gjøre dette på kan være å dele MI i ulike intervaller, der et intervall representerer en grense for potensielle fuktproblemer (Cornick & Dalgliesh, 2003b, s. 171). Som illustrert i figur 5 kan intervallene deles inn ved

hjelp av ulike radiuser. Tabell 2 lister intervallene som presenteres av Cornick og Dalglish (2003b, s. 173) og Cornick og Dalglish (2003a, s. 8), der intervallene rangeres fra lav til ekstrem. Javed *et al.* (2022) neglisjerer klassifiseringene liten og lav, og benytter kun de tre mest kritiske intervall-inndelingene.

Tabell 2: *Klimasoneinndeling av fuktpåkjenninger delt inn av ulike intervaller og tilhørende klassifiseringer (Cornick & Dalglish, 2003a, 2003b).*

Intervall (MI)	Klassifisering av potensielle fuktproblemer	Fargekode
$MI \geq 1.0$	Ekstrem	Rød
$1.0 > MI \geq 0.9$	Høy	Oransje
$0.9 > MI \geq 0.8$	Moderat	Gul
$0.8 > MI \geq 0.7$	Liten	Grønn
$MI \leq 0.7$	Lav	Blå

En annen måte å presentere klimasoneinndelingen ved hjelp av MI er bruken av visuelle kart (Cornick & Dalglish, 2003b, s. 171). Kart kan dermed utvikles basert på valgte grenseverdier, der alle områder som tilhører et intervall basert på MI kan angis av en fargekode.

2.3.6 Anslåtte klimaendringer

En annen måte å benytte MI i fuktprosjektering av bygninger er å vurdere fremtidige klimaendringer opp mot potensiell fuktproblematikk. Gaur *et al.* (2021) har utviklet kart som illustrerer beregnet MI for ulike steder i Canada, både ved bruk av historiske og fremtidige datasett. Dette er gjort i mål om å se på endringen av WI, DI og MI på grunn av klimaendringer. Det er da mulig å vurdere hvordan både mengden regn endres som følge av klimaendringer, men også hvordan luftens tørkekapasitet endres.

Gaur *et al.* (2021) utdyper at det er viktig å vurdere normaliseringsverdiene spesielt knyttet til DI ved implementering av fremtidige scenarioer. Dette er grunnet MI beregnes ved å substituere DI fra 1 og skal derfor aldri overstige 1. Dette vil føre til at MI-formelen svikter, fordi DI stigende over 1 vil gjøre at MI også stiger. Fordi det forventes en økning i temperaturer i fremtiden, vil det DI også øke (Gaur *et al.*, 2021, s. 8). Den maksimale DI-verdien beregnet basert på både historisk og fremtidig datasett må derfor benyttes til å normalisere DI for å unngå at DI_N for de fremtidige scenariene overstiger 1.

2.3.7 Valg av moisture reference year (MRY)

Cornick *et al.* (2002) beskriver at behovet for passende *Moisture Reference Years* (MRY) som inndata i hygrotermiske studier blir viktigere og viktigere. Hvordan MRY skal velges

ut er avhengig av problemet som skal vurderes. Dette vil si at det muligens ikke finnes en måte å definere en MRY som passer for alle hygrotermiske problemer.

MI vil i henhold til Cornick *et al.* (2002) være passende i mange sammenhenger ved hygrotermisk modellering. Typisk kan MI benyttes til å karakterisere klimaår statistisk. Dette kan innebære å klassifisere spesifikke år som våte, tørre eller moderate (Cornick *et al.*, 2002, s. 12). MI kan da beregnes for hvert år for en utvalgt by. Våte og tørre år kan således bestemmes som de årene som fraviker med mer enn 1 i standardavvik fra den gjennomsnittlige MI-verdien for den utvalgte byen. Moderate år defineres som de årene som er innenfor 1 i standardavvik fra den gjennomsnittlige MI-verdien. Året med høyest og lavest MI-verdi defineres også som det våteste og tørreste året.

Denne måten å definere våte og tørre år i et klimadatasett kan gjennomføres hvor WI er definert som årlig regn, men dersom det er ønskelig å vurdere fasadens orientering er det også mulig å benytte slagregnindekser for WI (Cornick *et al.*, 2002). Da vil WI defineres basert på den retningen som anses til å ha verst slagregnbetlastning. Javed *et al.* (2022) viser til hvordan slagregnmengdene varierer i stor grad innenfor generelle klimasoner gitt av det australske bygningsregelverket, og benytter derfor en variant av en slagregnindeks for WI ved valg av ulike MRY i Australia.

Valg av MRY avhenger i stor grad av formålet med MRY-en og MI kan eksempelvis egne seg til evaluering av langstidsytelsen av en kledning (Cornick *et al.*, 2003, s. 1377). Det skal likevel påpekes at bruken av MI som del av metoden til å definere MRY evaluerer utvendige klimaet alene, og ikke veggens ytelse eller respons (Cornick *et al.*, 2003). Derfor nevnes det at MI fungerer tilsynelatende bra sammenlignet med andre metoder som kun evaluerer utvendig klima, men at det er behov for videre forbedringer når metoden sammenlignes med metoder som også vurderer bygningsskallets respons.

2.3.8 Bruk i bygningsregelverket

MI er benyttet til å definere funksjonskrav for yttervegger i det canadiske regelverket (National Research Council of Canada, 2015). Forprosjektet til denne masteroppgaven utdyper bruken av MI som en del av NBC (*National Building Code of Canada*) (Astrup, 2021). Oppsummert har NBC beregnet MI-verdier for over 600 områder (National Research Council of Canada, 2015, s. Division B C-1), der verdiene brukes til å anbefale løsninger knyttet til fuktprosjektering. MI brukes videre til å definere behovet for trykkimpregnering av eksponert bærende treverk og behovet for inkorporering av *capillary break* i oppbyggingen av yttervegger. Tabell 3 viser til de relevante paragrafene i sammenheng med fuktprosjektering av bygninger ved hjelp av MI i NBC, der beskrivelsen av paragrafene er oversatt til norsk av Astrup (2021).

Tabell 3: Relevante punkter i det canadiske bygningsregelverket NBC (National Research Council of Canada, 2015). Oversettelsen i beskrivelsen er gjort av Astrup (2021).

Punkt	Tittel	Beskrivelse
9.3.2.9	<i>Termite and Decay Protection</i>	“Bærende treverk skal trykkimpregneres når vertikal avstand mellom bærende treelementer og bakken er mindre enn 150 mm eller når treelementene ikke er beskyttet mot eksponering for nedbør, konfigurasjonen bidrar til fuktakkumulering og fuktindeksen er større enn 1,00.” (National Research Council of Canada, 2015, s. 9-5)
9.27.2.2	<i>Minimum Protection from Precipitation Ingress</i>	“Yttervegger som eksponeres for nedbør, skal beskyttes mot inntrengning av nedbør ved hjelp av first plane of protection (kledningen) og second plane of protection som inkorporerer capillary break hvor; Antall graddager er færre enn 3400 og MI er større enn 0,90 eller antall graddager er 3400 eller fler, og MI er større enn 1,00.” (National Research Council of Canada, 2015, s. 9-178)

2.3.9 Begrensninger og usikkerheter

Selv om MI er ansett til å gi en indikasjon for hvordan potensielle fuktproblemer basert på geografisk plassering, så har den flere medfølgende usikkerheter (Cornick & Dalglish, 2003b). MI basert på årlig totalt regn betrakter blant annet ikke vindretning og -hastigheter eller solstråling (Gaur *et al.*, 2021, s. 11). Solstråling vil ha innvirkning på fasaders evne til å tørke ut (Byggforskserien 742.240, 2006), samt er slagregn som følge av vindhastighet og nedbør ansett å være den mest kritiske klimapåkjenningen yttervegger er utsatt for (Byggforskserien 542.003, 2013). Dette er klimaparametre som anses som viktige når det kommer til vurdering av hygrotermiske forhold i bygningsskallet (Gaur *et al.*, 2021, s. 11).

Cornick og Dalglish (2003b, s. 174) nevner at rangering av klima ved MI er basert på en relativ rangering heller enn et objektivt kriterium. MI, slik den er definert her, vil derfor hverken si noe om veggens respons til de klimatiske forholdene, eller spesifisere konkret hvilke fuktproblemer som kan forekomme. Det nevnes også at dersom klimasonene skal inneha verdier som har betydning for konstruksjoners ytelse, er det nødvendig å gjøre vurderinger knyttet til hvilke faktorer har størst betydning for levetiden til yttervegger. Eksempler på dette er i henhold til Cornick og Dalglish (2003b, s. 175); nedbrytningsprosesser, korrosjon, tilsmussing, muggvekst, overflateforringelse, tap av bæreevne, tap av varmemotstand, vannskader på innvendige overflater.

Vekting av DI og WI er også definert som en usikkerhet (Cornick & Dalglish, 2003b). Det beskrives at vektingen er kun en antakelse og er basert på valget å ikke vurdere veggens respons til fuktpåkjenningene. Vektingen kan derfor være en upresis tilnærming

til fuktproblematikk i konstruksjoner, men dette er hverken bevist fra eller til.

Likeså er MI utledet basert på en årlig analyse Cornick og Dalglish (2003b, s. 175). Dette vil si at MI neglisjerer effekten av tørke- og regnperioder, samt er effekten av de ulike årstidene. Cornick og Dalglish (2003b) stiller spørsmål om tørkepotensialet til klima med lite nedbør ved sommerstid eller at tørkepotensialet i kalde strøk der mesteparten av nedbøret faller som snø, skal belønnes.

Wang *et al.* (2021) har også nyligere gjennomført en studie knyttet til blant annet betydningen av MI, hvor WI er basert på slagregn, i sammenheng med en muggvekstindeks. Et funn Wang *et al.* (2021, s. 21) presenterer er at det er ingen tydelig sammenheng mellom deres anvendte muggvekstindeks og MI når alle orienteringer er vurdert. Det presiseres likevel at betydningen mellom variablene øker når analysene for variablene kun fokuserer på verste fasaderetning for slagregnpåkjenning.

2.4 Råteindeks (SI)

Den andre fuktindeksen presentert i denne masteroppgaven er råteindeksen, også omtalt som Scheffer indeks (SI). SI beskriver råterisikoen av treverk over bakkenivå (Cornick *et al.*, 2002, s. 42). SI ble utviklet av Scheffer (1971) og er satt sammen av en temperaturparameter og en fuktparameter (Lisø *et al.*, 2006, s. 547).

Råtesopp utvikler seg ikke like fort som det for eksempel muggsopp gjør, men treverket vil i langt større grad brytes ned og gi alvorlige skader i treverket (Byggforskserien 720.082, 2007). Både råtesopp og muggsopp er avhengige av gunstige temperaturer for å vokse, og dersom temperaturen synker ned mot 0°C stopper aktiviteten opp (Byggforskserien 701.401, 2005). Det er stor risiko for at råtesopp kan utvikles i trevirke med mer enn 20 vektprosent (Byggforskserien 720.082, 2007).

2.4.1 Beregning av SI

Ligning 6 kan benyttes til å regne ut råterisikoen for treverk (Lisø *et al.*, 2017; Scheffer, 1971):

$$SI = \frac{\sum_{\text{Jan}}^{\text{Des}} [(T - 2)(D - 3)]}{16,7} \quad (6)$$

T = gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]

D = gjennomsnittlig antall dager i en måned med $\geq 0,25$ mm nedbør

Summen av produktene satt sammen av temperatur og nedbør, divideres med 16,7 for å påse at indeksen havner mellom 0 og 100 (Scheffer, 1971). Nevneren er basert på arbeid

med indeksen i USA, og i henhold til Lisø *et al.* (2006) vil nevneren ligge på omtrent 10 for Norge basert på arbeid med indeksene i den spesifikke artikkelen. Likevel er nevneren på 16,7 benyttet for å gjennomføre relative sammenligninger.

Basert på Scheffer (1971) er 2°C ansett som den laveste temperaturen råte kan oppstå i treverk. På grunnlag av dette er 2°C trukket fra den gjennomsnittlige måneds-temperaturen. Det viser seg også at fordelingen av nedbør i løpet av året egner seg bedre til å forutsi fuktinnholdet til treverk over bakkenivå, enn årlig totalt nedbør. Dermed valget av fuktparameteren D . Konstanten 3 trekkes fra antall dager i løpet av en måned med mer enn 0,25 mm nedbør for å påse at indeksen for de tørreste områdene havner rundt 0 (Lisø *et al.*, 2006, s. 548). Negative gjennomsnittlige månedstemperaturer settes lik null for å unngå å få negative SI verdier (Brischke & Selter, 2020, s. 5).

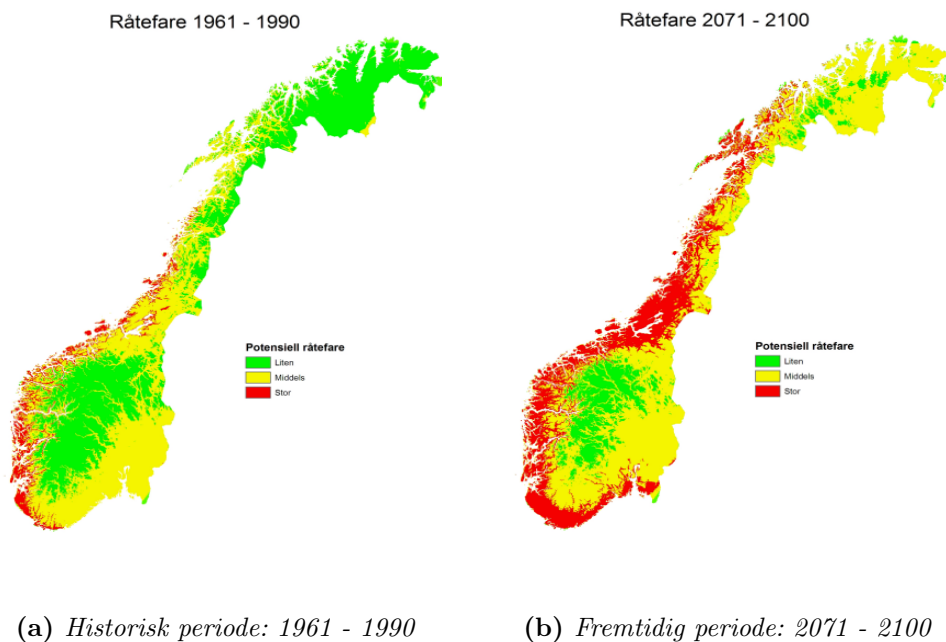
2.4.2 Klimasoneinndeling

Det er også laget en klimasoneinndeling i USA, der SI deles inn i følgende inndelinger; $SI < 35$, $35 \leq SI < 65$ og $SI \geq 65$ (Scheffer, 1971). Laveste verdier tilsier lav råterisiko. Denne inndelingen har også vært benyttet i Norge (Lisø & Kvande, 2007; Lisø *et al.*, 2006). Tabell 4 lister opp beregnet råteindeksverdier for en rekke byer fra arbeidet til Lisø *et al.* (2006).

Tabell 4: Råteindekser beregnet for ulike byer basert på perioden 1960 - 1991 (Lisø *et al.*, 2006, s. 550).

Plassering	Råteindeks (Periode 1960 - 1991)
Vardø	20
Karasjok	26
Tromsø	33
Trondheim (Værnes)	52
Røros	28
Bergen	70
Oslo	48
Kristiansand	50

Figur 6a illustrerer en klimasoneinndelingen for potensiell råterisiko for perioden 1961 - 1990 i Norge. Fremtidige klimaendringer kan også vurderes i sammenheng med den potensielle råtefaren i treverk, der figur 6b illustrerer hvordan den potensielle råtefaren kan endre seg i framtiden i Norge (Hygen, 2008, s. 27). I henhold til Almås *et al.* (2011, s. 233) må bygg som bygges med levetid på 100 år i dag ta fremtidige klimascenarier for år 2100 med i betraktning i dagens prosjektering.



Figur 6: Potensiell råtefare for perioden 1961 - 1990 og fremtidig periode 2071 - 2100, beregnet basert på Scheffers indeks (Hygen, 2008; Lisø & Kvande, 2007).

2.4.3 Usikkerheter

Råteindeksen er en forenkling av de klimatiske forholdene, hvor det da medfølger en rekke usikkerheter. Blant annet er ikke topografien i Norge tatt hensyn til ved utarbeidelse av kartet (Lisø & Kvande, 2007, s. 36), hvilket betyr at flere lokale områder kan være mer eller mindre skjermet mot råtefare enn kartet tyder til. I tillegg er ikke klimasoneinndelingen med de angitte grenseverdiene basert på empirisk data for norske forhold (Almås *et al.*, 2011, s. 233).

2.5 Slagregnindeks (I_{Θ})

Slagregnpåkjenningen på ulike fasader avhenger av opptil flere faktorer og på grunn av dette vil det i henhold til Byggforskserien 542.003 (2013) ikke være mulig å benytte målinger fra meteorologiske stasjoner som et fullstendig entydig mål på slagregnpåkjenningen på et hvilket som helst bygg. Blant faktorene som påvirker slagregnpåkjenningen på bygg er (Byggforskserien 542.003, 2013):

- Nedbørsintensitet
- Vindretning
- Vindhastighet
- Orientering av fasaden i forhold til vindretning
- Nærliggende topografi, bebyggelse og liknende

- Form og størrelse på bygningen

Innfallende slagregn på fasader kan enten renne nedover den eksponerte kledningen, suges opp i kledningen eller trenge gjennom kledningen avhengig av både vindhastighet, materialvalg og type løsning for fasaden (Byggforskserien 542.003, 2013). Slagregnet har stor betydning for fasaders tilsmussing, der øverste deler av fasader og langs hjørnene blir rengjort mer enn andre deler av bygningen (Byggforskserien 742.240, 2006). Høye fasader er også mer utsatt enn lave fasader.

I henhold til Lisø (2006) og Byggforskserien 451.031 (2013) finnes det ikke lange tidsserier med måledata for slagregn i Norge. Derfor har det blitt utviklet en metode som benytter seg av flere år med klimadata, der vindretning og vindhastigheter, i tillegg til gjennomsnittlig årlig regnmengde, benyttes til å regne ut slagregnmengdene. Metoden viser seg å være en representativ tilnærming til mengde slagregn fra ulike retninger i henhold til Lisø (2006, s. 21). Fordelen med denne tilnærmingen er at den benytter seg av lett tilgjengelig klimadata. Ligning 7 kan benyttes til å beregne slagregnpåkjenningen som funksjon av fasaderetning (Byggforskserien 451.031, 2013):

$$I_{\Theta} = 0,206 \times \sum_D V_D \times r_D \times \cos(D - \Theta) [\text{mm}/\text{år}] \quad (7)$$

Der:

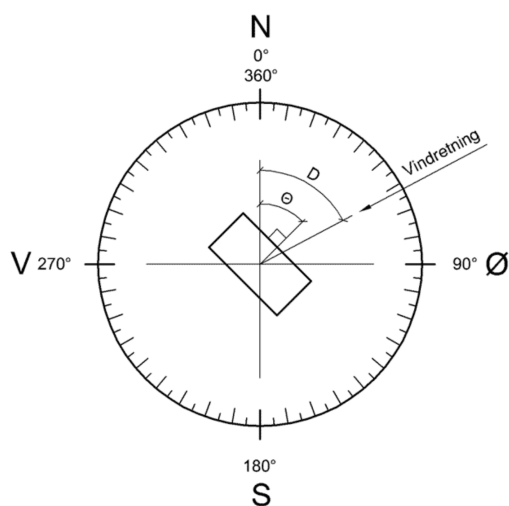
D = vindretning med vinkel fra nord

V_D = midlere vindhastighet (m/s) fra retning D

r_D = midlere årlig regn (mm/år) med vind fra retning D

Θ = vinkelen mellom nord og en linje normalt på veggflaten der nord er 0° , øst er 90° , sør er 180° og vest er 270° .

Verdien 0,206 med enheten (s/m) benyttes som en omgjøringsfaktor, og er basert på at $1 \text{ m}^2/\text{s}$ tilsvarer 0,206 m slagregn på en vertikal flate (Lacy RE. (1965, beskrevet i Rydock *et al.* (2005, s. 1456))). Summeringen gjøres for alle vindretninger som blåser på den gitte fasaden, altså i området mellom $\Theta - 80^\circ$ og $\Theta + 80^\circ$ (Rydock *et al.*, 2005, s. 1456). Figur 7 illustrerer parameterene ovenfor i en kompassrose delt inn i 10-graderssektorer.



Figur 7: Kompassrose som illustrerer inndelingen i 10-graders sektorer, vindretning D , og fasaderetning Θ (Byggforskserien 451.031, 2013).

2.5.1 Klimasoneinndeling

Avhengig av geografisk plassering i landet, vil ulike steder ha ulik grad av slagregnpåkjønning (Byggforskserien 542.003, 2013). Tabell 5 viser inndelingen av klimasoner basert på slagregnpåkjønning og typiske trekk for ulike steder innenfor de ulike inndelingene. Inndelingen i tabellen omfatter ikke slagregnpåkjønning på bygninger i høvfjellsklima.

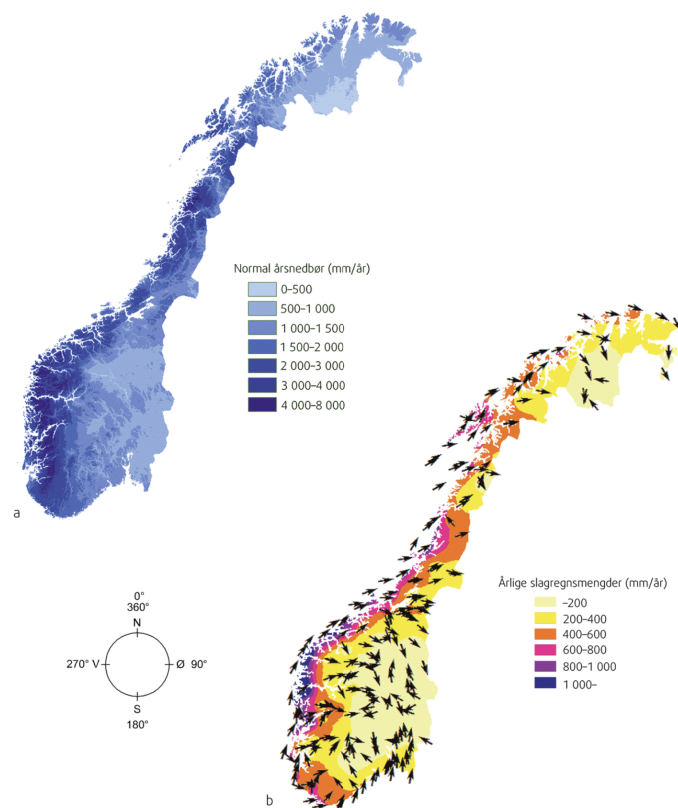
Tabell 5: Slagregnpåkjønning med klimasoneinndeling og typiske trekk for de ulike geografiske stedene innenfor den aktuelle klimasonen (Byggforskserien 542.003, 2013).

Klimasone	Slagregnmengde	Typiske trekk
Liten slagregnpåkjønning	< 200mm per år	Innlandsklima: Eksempelvis indre del av Telemark, Hedmark, Buskerud og Oppland, i tillegg til Finnmarksvidda
Moderat slagregnpåkjønning	200 - 400 mm per år	Kystklima ved Oslofjorden, deler av Nordland, Finnmark og Troms, fjordstrøk i indre Vestland og Midt-Norge.
Stor slagregnpåkjønning	> 400mm per år	Kystklima i ytre deler av Sørlandet, Midt-Norge, Troms, Nordland og Vestlandet.

Tabell 6 lister slagregnindekser hentet fra Byggforskserien 451.031 (2013), for de byene som korresponderer med de byene som er inkludert i analysen i oppgaven. Her oppgis slagregnindeksen (I_{Θ}), tilhørende hovedretning (Θ) og normalnedbør for de ulike byene. Figur 8 illustrerer både normal årsnedbør og årlige slagregnsmengder for normalperioden 1961 - 1990. Pilene i slagregnskartet illustrerer dominerende slagregnretning ulike steder i landet.

Tabell 6: Slagregnindeksverdier hentet fra Byggforskserien 451.031 (2013) for de samme byene i Norge som er inkludert i beregningene ellers i oppgaven.

Sted	Stasjonsnummer	Normal-nedbør [mm/år]	Slagregnindeks, I_{Θ} [mm/år]	Hovedretning, Θ [°]
Kristiansand	39040	1 299	401	210
Oslo	18700	763	198	40
Gardermoen	4780	862	213	170
Kise	-	-	-	-
Bergen	50560	2 150	1423	170
Kristiansund	64260	1 225	-	-
Røros	10400	504	111	310
Trondheim	68170	850	368	250
Værnes	69100	892	513	270
Mo i rana				
Tromsø	90450	1031	474	220
Karasjok	97350	380	49	100



Figur 8: Normal årsnedbør (mm/år) (venstre) og årlige slagregnmengder (mm/år) (høyre). Kartene basert på normalperioden 1961 - 1990 (Byggforskserien 451.031, 2013).

2.5.2 Byggetekniske anbefalinger

Slagregnindeksen er i stor grad benyttet til å definere minste anbefalinger av ulike byggetekniske løsninger. Videre vil en rekke byggetekniske anbefalinger som er funnet knyttet til slagregnindeksen presenteres.

Luftede kledninger og fuger

I henhold til Kvande og Lisø (2009, s. 2446) er prinsippet to-trinnstetting viktig i klima med stor slagregnpåkjønning ($I_{\Theta} > 400$ mm/år). Prinsippet for totrinnstetting kan benyttes både ved fasader og fuger (Byggforskserien 542.003, 2013). Slagregnindeksen har derfor blant annet blitt brukt til å anbefale minimumskrav til luftede kledninger (Bunkholt *et al.*, 2021).

Bunkholt *et al.* (2021, s. 27) har utviklet en tabelloversikt over anbefalte minstekrav knyttet til luftespaltebredde, oppbygging av spalten, og åpning i topp og bunn av kledning. Tabellen deler inn i ulike typer luftede kledninger, hvor klimasonene “Liten”, “Moderat” og “Stor” slagregnpåkjønning knyttes til de ulike kledningstypene.

I områder med stor slagregnpåkjønning anbefales det eksempelvis at lufte- og dreneringsåpning i fasader med vinduer utformes slik at vann kan ledes ut i hver etasje (Byggforskserien 542.003, 2013). Regnskjermer er også anbefalt for fuger som er smalere enn omtrent 3 mm. For fasadekledninger i metall, anbefales det at vannbrettbeslag benyttes for hver andre etasje (Byggforskserien 542.201, 2019).

Beslag

Anbefalte beslagsløsninger er også i avhengig av mengde slagregnpåkjønning, da slagregnet kan drive inn gjennom åpninger i beslag (Byggforskserien 520.415, 2004). For eksempel anbefales det ikke å benytte skjøter med lasker eller overlapp i klima med kraftig slagregn. Ellers er det anbefalt at vegger som kan bli fuktet opp av slagregn har et underliggende tettesjikt, som for eksempel membran og taktekning, samt overgangsbeslaget blir avsluttet innenfor ytterveggen vindsperresjikt. Beslagsløsninger som avsluttes under en minst 50 mm dyp dryppnese, kan benyttes i områder med liten eller moderat slagregnpåkjønning.

Fasadepuss

Byggforskserien 542.811 (2005) anbefaler at pusskonstruksjoner som skal plasseres i områder i kystklima med stor eller moderat slagregnbeklastning, skal bygges opp med minst tre sjikt. Ved innenlandsklima er det derimot anbefalt å ha minst to sjikt i områder med normalt lite slagregn. Tabell 7 oppgir de to mest typiske pusstypene, med tilhørende tykkelser, antall

sjikt og hvilke klimasoner basert på slagregnindeksen de egner seg best til. Tykkpussen består typisk av grunning, grovpuss og en slutt puss, og regnes til å ha fra god til meget god regntetthet. Tynnpussen kan bygges opp med både ett, to eller tre sjikt, der valg av antall sjikt baseres på det aktuelle underlaget og pusstype.

Tabell 7: De to mest vanlige pusstypene med tilhørende tykkelse, antall sjikt og anbefalt klimasone basert på slagregnindeksen i henhold til anbefalinger fra Byggforskserien 542.811 (2005).

Type	Tykkelse [mm]	Antall sjikt	Klimasone slagregn
Tykkpuss	12 - 18	3	Alle
Tynnpuss	3 - 5	1 - 2 / 3	Moderat/liten

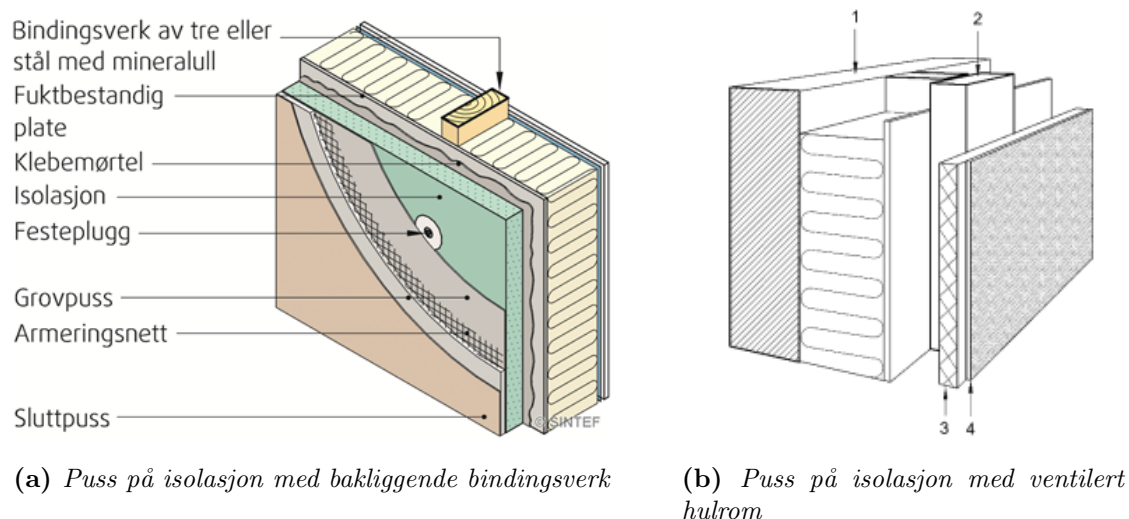
En type pusset fasade, omtalt som *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS), består i henhold til (Blom (2010), beskrevet i Kvande *et al.* (2018)) i Norge av et avsluttende sjikt, forsterkende armeringsnett, basesjikt, forankring, isolasjon (typisk EPS eller mineralull) og lim, på utsiden av en utvalgt veggkonstruksjon. Fasadesystemet benyttes oftest ved rehabilitering av eldre mur- og betong, men det er dog registrert mange problemer knyttet til fasadesystemet. Skadetilfellene er spesielt i sammenheng med bakliggende bindingsverkvegg, som er illustrert i figur 9a. Den anbefales kun i områder med moderat slagregnmengde (Byggforskserien 542.303, 2010). Kvande *et al.* (2018) har delt inn i klimasoner for slagregnindeksen, med hensyn til anbefaling av bruk av ETICs yttervegger:

- $I_{\Theta} < 400$ mm/år: Anbefalt
- $400 < I_{\Theta} < 600$ mm/år: Utrygt
- $I_{\Theta} > 600$ mm/år: Ikke anbefalt

Alternativt presenterer Kvande *et al.* (2018) en anbefaling å påføre puss utenpå et ventilert kledningssystem bygget opp med en fuktbestandige plate, som illustrert i figur 9b.

SINTEF Teknisk Godkjenning (TG)

SINTEF Teknisk Godkjenning (TG) benytter slagregnindeksen til å anbefale tekniske løsninger for en spesiell klimasoneinndeling. Eksempler på dette er produkter for puss på isolasjon og vindsperreprodukter. SINTEF Certification (2021a) vurderer det som greit å la det spesifikke vindsperresystemet stå utildekket i opptil et år før kledningen monteres, dersom det benyttes på et sted med lav slagregnbelastning ($I_{\Theta} < 200$ mm/år). Ellers er anbefalingen at systemet tildekkes så snart som mulig. SINTEF Certification (2021b) anbefaler kun å benytte produktet i områder med liten til moderat slagregnpåkjenning.



Figur 9: Fasadesystem med puss på isolasjon bygget utenpå en bakvegg med bindingsverk (Byggforskserien 542.303, 2010) (a) og fasadesystem med puss på isolasjon med bakliggende ventilert hulrom (Kvande et al., 2018) (b). Isolasjonen bak grovpussen som er illustrert i figur a) er illustrert som plastisolasjon, men i henhold til Byggforskserien 542.303 (2010) skal denne tegnes som mineralull.

2.6 Nedbørsintensitet (IVF)

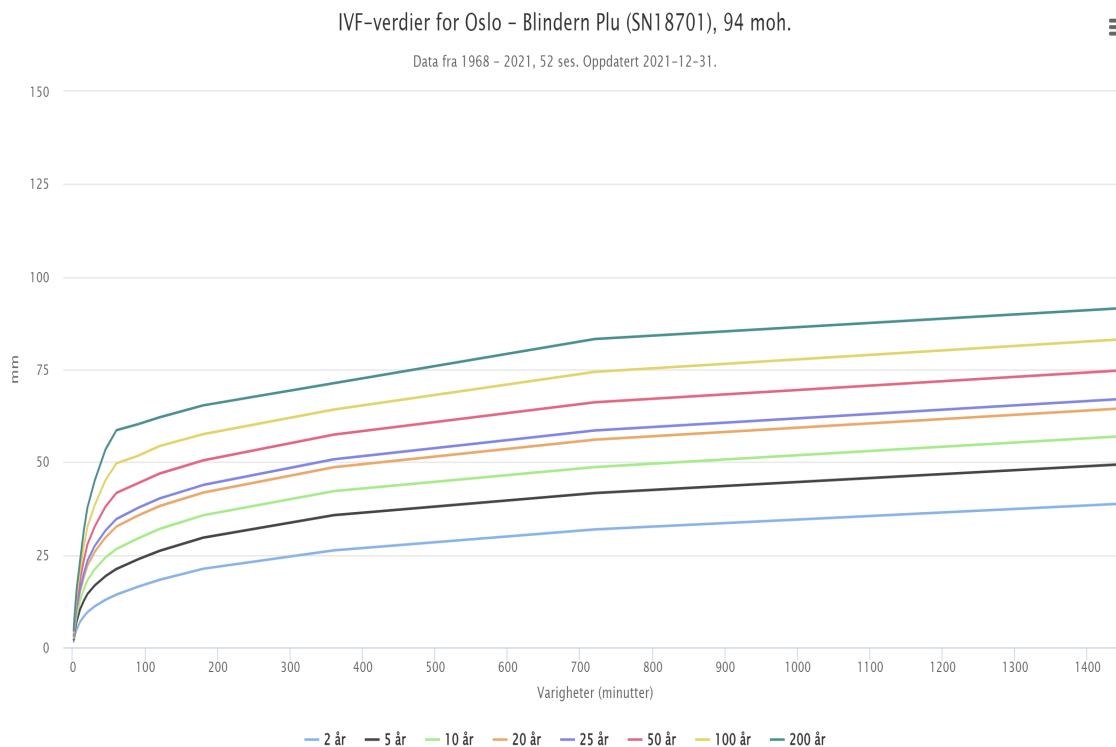
Intensitet-Varighet-Frekvens, forkortet til IVF-verdier, definerer nedbørsintensiteten i et gitt område. Verdiene angir det dimensjonerende nedbøret og kan benyttes til planlegging og dimensjonering av ulike typer infrastruktur (Norsk Klimaservicesenter, u.å.-a). Typisk kan de benyttes til å dimensjonere taknedløp og være avgjørende for håndtering av overvann (Byggforskserien 451.021, 2018). Nedbør i korte og intense drag kan gi store utfordringer for overvannshåndteringen i tettbebygget strøk (Norsk Klimaservicesenter, u.å.-a). IVF-kurvene baseres på nedbørsmålinger med tidsoppløsning på 1 minutt.

Det er utarbeidet IVF-kurver for 90 stasjoner i Norge med ulike dimensjoneringskriterier basert på gjentaksintervaller eller returperioder (Norsk Klimaservicesenter, u.å.-b). Meteorologisk institutt har utviklet slike kurver med varigheter på 1 - 60 minutter og 1 - 24 timer, for de ulike returperiodene. Typiske returperioder er 2 år, 5 år, 10 år, ... , og opptil 200 år. Hvilken returperiode som velges er basert på skadeomfanget, men det er vanlig å velge en returperiode på 2 år og ved større konsekvens som følge av oversvømmelse benyttes lenger returperioder (Byggforskserien 451.021, 2018). Figur 10 illustrerer utklipp av hvordan Meteorologisk institutt presenterer de ulike returperiodene som følge av nedbør (mm) og varighet (minutter), i dette tilfellet for målestasjon Oslo (Blindern).

Norsk Klimaservicesenter (u.å.-b) beskriver en rekke usikkerheter bak IVF-kurvene og at det i hovedsak skyldes stasjonstettheten, korte tidsserier, metodikken og klimaendringer de siste 10-årene. På grunn av variert topografi og stor variasjon i nedbør på korte avstander, er IVF statistikken kun representativ for mindre områder. Det beskrives at

stasjonstettheten er lav for fjellområder og i nord og den nærmeste IVF-kurven trenger ikke nødvendigvis å være representativ for områder i nærheten.

Lange returperioder har stor usikkerhet på grunn av det kreves en kraftig ekstrapolering av dataen. I tillegg vil de kraftigste nedbørsrundene skyldes lokal bygeaktivitet, noe som gjør at IVF-statistikken er preget av hvilke nedbørshendelser som treffer akkurat på det punktet målestasjonen står i. Dette gjør at IVF-kurvene må sees på som en ferskvare og usikkerheten knyttet til plassering av målestasjonen og den lokale bygeaktiviteten må medberegnes (Norsk Klimaservicesenter, u.å.-b).



Figur 10: IVF-verdier for Oslo (Blindern), der de ulike returperiodene er illustrert som følge av nedbør (mm) og varighet (minutter). Figuren er et utklipp fra Norsk Klimaservicesenter (u.å.-b).

Fordi det ikke finnes mange stasjoner med IVF-statistikk, benyttes gjerne stasjoner som har vært operative i perioden 1968 - 1990 som en del av statistikken på lik linje som nyere serier. De siste tiårene har nedbøret økt på grunn av økte temperaturer. Det betyr at den IVF-statistikken som da er basert på perioden mellom 1968 og 1990 ikke nødvendigvis er representative for hvordan dagens klima er (Norsk Klimaservicesenter, u.å.-b).

2.7 Bruk av klimadata ved fuktberegninger

Valg av type klimadata i fuktberegninger avhenger av formålet med beregningene (Geving & Thue, 2002, s. 388). For eksempel ved fuktdimensjonering av konstruksjoner som skal bygges på en bestemt geografisk plassering, er det anbefalt å benytte “Moisture design

reference year” (MDRY) eller klimadata for 15- 30 år. Det er likevel i de aller fleste tilfeller anbefalt å benytte MDRY klimadata dersom de er tilgjengelige. Bruken av MDRY klimafilene vil videre beskrives.

2.7.1 Moisture design reference year (MDRY)

MDRY klimadata fungerer som et referanseår for fuktdimensjonering (Geving & Thue, 2002, s. 387). Med et referanseår, menes det en oppsummering av uteklimaet for et sted. Fordi klimadataen skal representere en kritisk belastning på konstruksjoner benyttes det ikke et gjennomsnittså til fuktsimuleringer.

Metoden for utvalg av MDRY klimafilene i Norge benytter seks typiske konstruksjoner, hvor fuktforholdene brukes som kriterium for valg av MDRY med en returperiode på omtrent 10 år (Geving & Torgersen, 1997, s. 7). Hvert år for et sted beregnes separat og resultatene evalueres for hver konstruksjon for å velge ut en MDRY for stedet. Dette gjøres typisk ved hjelp av et fuktbergningsprogram. Da uteluftens årlige gjennomsnittsverdier for temperatur og relativ fuktighet er ansett å ha god korrelasjon med fuktforholdene i en konstruksjon, er det også mulig å velge MDRY for et sted basert på forenklete regresjonsligninger for å vurdere påvirkningen av fuktforholdene til de ulike årene. Ved valg av MDRY benyttes to fuktkriterier som er angitt med enheten kg/m^2 (Geving & Torgersen, 1997, s. 8). Kriteriene er som følger:

1. MC-avg: Gjennomsnittlig totalt fuktinnhold i konstruksjonen i løpet av et år.
2. MC-maks: Maksimalt fuktinnhold i et eventuelt hygroskopisk lag som ligger utenfor isolasjonen eller eventuelt ved den ytterste delen av isolasjonen.

Klimafilene er basert på hovedobservasjoner fra meteorologisk institutt, der målinger er gjennomført 3 til 4 ganger i løpet av et døgn for de ulike klimaparameterene (Geving & Torgersen, 1997, s. 10). Lineær interpolasjon benyttes mellom de målte tidspunktene for å påse at de er angitt som timesbaserte. Nedbørsmålingene er derimot målt 2 ganger i løpet av et døgn. Nedbørsmengden fordeles jevnt mellom tidene for å omgjøre til timesdata.

2.7.2 Nødvendig klimaparametre

Uteklimaet er en av de viktigste faktorene som påvirker fuktforholdene i konstruksjoner. Ulike klimaparametre vil ha ulik betydning for konstruksjoners ytelse, avhengig av type konstruksjon og det sammensatte klimaet som analyseres (Geving & Thue, 2002). Følgende klimaparametre anses som nødvendig for å beskrive både temperatur- og fuktforholdene i utvendige konstruksjoner (Geving & Thue, 2002, s. 387):

- Lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
- Relativ fuktighet, RF [%]
- Nedbør [mm]
- Solstråling (global-, diffus- og direktestråling)
- Vindretning og -hastighet

RF definerer fuktinnholdet i forhold til metningsinnholdet til luftens temperatur (Thue, 2016, s. 110). RF til luft med et absolutt fuktinnhold vil øke dersom temperaturen avkjøles fordi metningsinnholdet avtar. RF sier derfor ingenting om det absolutte vanndampinnholdet til luften. Likevel er det vanlig at vanndampinnholdet blir angitt som RF (Thue, 2016, s. 52). Dette er skyldes blant annet av at ulike bygningsmaterialers opptak av vann- damp avgjøres av RF og ikke det absolutte fuktinnholdet i luften. I tillegg er det lettere å måle den relative fuktigheten i luften. Middelerdien for RF per døgn ligger vanligvis mellom 50 og 90 % i Norge (Byggforskserien 421.132, 2018).

Solstråling når jordoverflaten til som både direkte- og diffus himmelstråling (Thue, 2016, s. 101). Global stråling er summen av diffus og direkte stråling. Solstråling både spres og absorberes av ulike gasser, støv og forurensninger, der typisk tåke og skyer vil reflektere og absorbere den direkte solstrålingen. Dersom skylaget er tykt nok vil ingen direkte stråling slippe gjennom skylaget. Dette vil føre til at den diffuse andelen av strålingen mot bakken vil øke og kan bli sterkere enn den andelen diffuse strålingen som forekommer ved klar himmel (Geving & Thue, 2002, s. 316).

Slagregnindeksen i MDRY filene beregnes basert på vindhastighet og nedbør, og angis som en månedlig verdi (Geving & Torgersen, 1997, s. 13). Slagregnindeksen for en gitt himmelretning med en 90° sektor beregnes basert på følgende formel for hver time og deretter summert for hver måned, (Lacy (1977, beskrevet i Geving og Torgersen (1997, s. 13))):

$$r_v = 0,22 \times v \times r_h^{0,88} [\text{mm/time}] \quad (8)$$

Der,

$$v = \text{vindhastighet [m/s] med retning mot veggen i en } 90^{\circ} \text{ sektor}$$
$$r_h = \text{nedbørsintensitet på en horisontal flate [mm/time]}$$

2.7.3 Usikkerheter ved MDRY klimafilene

Det finnes flere usikkerheter bak bruken av MDRY klimafilene til fuktberginger. Geving og Torgersen (1997) nevner blant annet at MDRY filene ikke nødvendigvis representerer

et kritisk år med hensyn til fuktbelastning. Dette gjelder for eksempel ved beregning av kondens på utvendige overflater eller ved analyse av effekten av sommerkondensasjon, altså innadrettet fukttransport på grunn av sterk solstråling. Det er heller ikke anbefalt å evaluere konstruksjoner med dampnett utvendig lag når den innvendige luftfuktigheten også samtidig er satt som konstant relativ fuktighet i løpet av året. Ellers nevner Geving og Torgersen (1997) at MDRY filene kun er evaluert med hensyn til en-dimensjonale tilfeller og at slagregnets innvirkning på de utvalgte konstruksjonene ikke er vurdert i analysen. Dette kan bety at MDRY klimafilene ikke nødvendigvis er kritisk med hensyn til slagregnbelastning.

Månedsgjennomsnittsverdier for relativ fuktighet, lufttemperatur, nedbør og globalstråling er kontrollert og beregnet etter meteorologisk institutts prosedyrer (Geving & Torgersen, 1997, s. 13). Tross kvalitetssikring, gis det i henhold til Geving og Torgersen (1997) ingen garanti for korrektheten til verdiene. Det presiseres likevel at temperatur og trolig relativ fuktighet er beregnet riktig. Det horisontale regnet er trolig underestimert, omkring 96 - 98 %, og beskrives å kunne skyldes en systematisk avrundingsfeil.

3 Metode

I dette kapitlet vil metodikken benyttet i masteroppgaven presenteres. Litteraturstudium, beregning av fuktindekser, bruk av normalverdier, fuktberregning av utvalgt yttervegg og sensitivitetsanalyse av klimaparametre inngår i denne delen. Styrker og svakheter til de ulike metodene vil også presenteres.

3.1 Litteraturstudie

Det er gjennomført et litteraturstudium for å dekke bakgrunnen for beregning og bruksområder for de ulike fuktindeksene.

Høsten 2021 ble det gjennomført et litteraturstudium i forprosjektet som fungerer som innledende arbeid til denne masteroppgaven. Formålet med forprosjektet var å se på hvordan fuktindeksen, MI, er benyttet i det canadiske regelverket. Funn i denne fasen har dannet grunnlag for videre arbeid med fuktindeksen i norske forhold. Litteraturstudiumprosessen startet da med en artikkel som innledende litteratur, gitt av veileder Tore Kvande. Tidskriftartikkelen skrevet av Gaur *et al.* (2021) ble brukt som utgangspunkt for videre snowballing i prosjektoppgaven.

Det er gjennomført ytterligere søk for å supplere med enda mer bakgrunnstoff og påse at eventuell ferskpublisert litteratur kommer med. Følgende søkestrenger er benyttet til å søke etter litteratur i Google Scholar i denne masteroppgaven, som vist i tabell 8.

Tabell 8: *Søkestrenger for søk etter relevant litteratur.*

	Søkestreng	Antall treff	Antall treff forprosjekt^a
1	“moisture index” + “canada” + “MI” + “WI” + “DI” - “soil”	41	39
2	“sensitivity analysis” + “moisture index” + “MI” + “hygrothermal”	10	
3	“Scheffer index” + “moisture” + “buildings” + “norway”	45	

^a (Astrup, 2021)

En stor andel av litteraturen benyttet i oppgaven er skrevet på tidlig 2000-tallet, fordi det er da fuktindeksen ble utarbeidet i Canada. Dette gjør det urimelig å kun bruke den nyeste litteraturen som bakgrunns litteratur. Utvalgskriterium basert på kun utgivelsesår er derfor neglisjert for å unngå at relevant litteratur utelates. Det er også gjort ytterlige søk for å fange opp den litteraturen som eventuelt har blitt publisert det siste halve året. Som vist i tabell 8 er det kun publisert 2 nye artikler i 2022 tilhørende søkestreng 1. Artikler funnet som anvender MI i sammenheng med ytterveggers respons og fremtidige klimaendringer er i større grad anvendt i denne masteroppgaven enn prosjektoppgaven. Utvalgte artikler

fra søkestreng 2 er også funnet i søkestreng 1.

Råteindeksen er i hovedsak basert på norsk litteratur. Søkestreng 3 ga to treff som er videre brukt til å finne noe ytterligere litteratur gjennom artiklenes referanseliste.

I tillegg til litteratursøk i akademiske databaser, er det gjennomført komplementerende søk. Dette kan for eksempel innebære rapporter og publikasjoner fra aktuelle aktører fra bransjen. Byggforskserien og SINTEF rapporter er benyttet til å finne relevant bakgrunns-litteratur angående spesielt slagregnindeksen, da denne i stor grad er anvendt i norsk lit-teratur. Tross anvisninger utviklet av Byggforskserien ikke er fagfelleurdert i tidsskrifter, så er de kvalitetssikret av både interne og eksterne fagmiljøer (Byggforskserien, u.å.). I tillegg vil større revisjoner og nyutgivelser gjennomgå av et utvalg satt sammen av repre-sentanter fra byggenæringen, myndighetene og undervisning. Dette gjør at anvisningene er ansett som en sikker kilde.

Det store norske leksikon (SNL) er også benyttet til å beskrive begreper og klima i Norge. Denne delen er dog ansett til å være liten, samt er SNL drevet og oppdatert av fagan-svarlige, og foreningen er i tett samarbeid med universiteter, høgskoler og forskningsinsti-tusjoner (SNL, u.å.). SNL-artiklene benyttet i denne oppgaven er hovedsakelig utarbeidet av Meteorologisk Institutt.

Det er også benyttet produktdatablader med SINTEF Teknisk Godkjenning (TG), for å vise til hvordan slagregnindeksen er anvendt til tekniske løsninger og produkter i bransjen. TG angir om en byggevarer er vurdert å være egnet for bruk og om produktet tilfredsstill-kravene i byggt teknisk forskrift (TEK) for de spesifiserte betingelsene og bruksområdene (SINTEF Certification, u.å.). Dette gjør at produktdatabladenes bruk av slagregnindeksen er ansett som kontrollert og en sikker kilde, på samme måte som SINTEF rapporter og anvisninger ellers.

3.2 Beregning av fuktindekser

Beregning av *Moisture index* (MI) , råteindeksen (SI) og slagregnindeksen (I_{Θ}) er basert på formelverket beskrevet i kapittel 2.3, 2.4 og 2.5. Videre er innhenting av klimadata og oppsett for beregning av de ulike indeksene beskrevet.

3.2.1 Klimafilene

Beregning av fuktindeksene er gjort basert på klimafilene som ligger integrert i fuktbereg-ningsprogrammet WUFI. Klimafilene som ligger integrert i WUFI er i et såkalt *.WBC format, som er forkortet for WUFI Binary File (WUFI-Wiki, 2008). Disse filene er ikke mulig å hente ut direkte fra programmet. Filene ble derfor tilgjengelig gjennom Professor Stig Geving, som er en av utviklerne av MDRY klimafilene for Norge (Geving & Torgersen,

1997). Klimafilene er konstruert for 12 steder i Norge, og inneholder 18 kolonner og 8760 rader. Dette tilsvarer ett år med timesverdier. Kolonneinndelingen i nøytralformat er presentert i arbeidet til Geving og Torgersen (1997, s. 11). De ulike geografiske plasseringene med tilhørende stasjonsnummer og år er oppgitt i tabell 9.

Tabell 9: *De ulike geografiske plasseringene i MDRY klimafilene (Geving & Torgersen, 1997, s. 10).*

Stasjonsnummer	Sted	År
3904	Kristiansand (Kjevik)	1967
1870	Oslo (Blindern)	1991
0478	Gardermoen	1972
1255	Kise (Hedmark)	1971
5054	Bergen	1991
6426	Kristiansund N	1961
1040	Røros	1985
6817	Trondheim (Tyholt)	1971
6910	Værnes	1968
7940	Mo i Rana (Nerdal)	1979
9045	Tromsø	1971
9725	Karasjok	1976

Filene tilsendt er opprinnelig i filformatet *.DRY. For å gjøre filene lesbare for *Microsoft Excel* er filene åpnet og lagret i *Notisblokk* som *.txt.fil. Verdiene er importert inn i Excel ved å etablere skilletegn “Fast bredde”, der følgende tallrekke med stigende heltall med kommadeling skiller kolonnene fra hverandre; “1, 6, 10, 14, 16, 20, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 62, 66, 72”. Dette er gjennomført for hver av de 12 klimafilene i Norge.

3.2.2 Oppsett av beregningsark

Videre er oppsett av de ulike beregningsarkene beskrevet for hver av fuktindeksene.

Moisture index (MI)

Formelverket beskrevet i kapittel 2.3 er benyttet til å beregne MI i Excel. Grunnparametrene temperatur [°C], relativ fuktighet [%] og nedbør [mm] er benyttet til beregning av MI for alle 12 stedene. Temperatur- og nedbørskolonnen er skalert til riktig enhet fordi parametrene er skalert med henholdsvis $\times 10$ og $\times 100$ i nøytralformatet. Beregningsark for alle 12 byene ligger vedlagt i Vedlegg A.

Det er benyttet en forenklet metode for å luke ut den andelen som faller som snø i løpet av et år. Nedbør for hver time ved $< 0^{\circ}\text{C}$ er derfor satt lik 0, slik at kun de timene med

0°C eller mer er medberegnet i andelen regn i løpet av et år. WI er summert basert på den andelen som står igjen som regn. Dette er dog en noe usikker tilnærming til faktisk andel snø og regn i alt nedbør som faller i løpet av et år på fordi det er en forenkling av værphenomenet.

For å beregne DI er det nødvendig å definere luftens vanndampinnhold. MDRY klimafilene inneholder ikke denne informasjonen og det er derfor nødvendig å foreta en omregning av den tilgjengelige klimadataen. En hver temperatur har en øvre grense for hvor mye vanndamp luften kan inneholde, omtalt som metningspunktet. Temperaturen i klimafilene er derfor benyttet til å beregne vanndampens metningstrykk, p_{sat} , ved hjelp av ligning 9 for kuldegrader og ligning 10 for varme grader (Geving & Thue, 2002, s. 437):

Ved $-30^{\circ}\text{C} \leq t \leq 0^{\circ}\text{C}$:

$$p_{\text{sat}} = 611 \cdot \exp(82,9 \cdot 10^{-3} \cdot t - 288,1 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 4,403 \cdot 10^{-6} \cdot t^3) \quad (9)$$

Ved $0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 40^{\circ}\text{C}$:

$$p_{\text{sat}} = 611 \cdot \exp(72,5 \cdot 10^{-3} \cdot t - 288,1 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 0,79 \cdot 10^{-6} \cdot t^3) \quad (10)$$

Der t står for temperatur ($^{\circ}\text{C}$).

Etter WI og DI for hver by er beregnet, er verdiene samlet for alle byene i et separat excelark. WI og DI vil da her bli normalisert basert på fire valgte normaliseringsordninger. Fuktindeksene er normalisert for å gjøre indeksene sammenlignbare og dimensjonsløse. Normaliseringsverdien til DI er i liten grad variert, på grunn av at MI er avhengig av at DI_N aldri overstiger 1. Tabell 10 lister de utvalgte normaliseringsordningene som er benyttet ved beregning av WI_N , DI_N og påfølgende MI. Normaliseringsordningene N1, N2 og N3 representerer enkeltverdier som er benyttet til å dividere henholdsvis DI og WI hver for seg. N4 anvender ligning 4 presentert under kapittel 2, der største og minste verdi i datasettet er benyttet til å normalisere henholdsvis DI og WI hver for seg.

I tillegg er slagregnindeksen, I_{Θ} , benyttet til å definere WI, som er den femte normaliseringsordningen i tabell 10. For enkelthets skyld er det kun definert en normaliseringsordning for MI basert på slagregn, der den maksimale verdien for DI og WI benyttes. Beregningsmetodikken for I_{Θ} er presentert senere i metoden.

Tabell 10: De ulike normaliseringsverdiene benyttet til å beregne DI, WI. Maksimaleverdiene ^(b) ^(e) for WI er avrundet til nærmeste tier.

MI	Normaliserings- ordning	DI [kg _{vann} /kg _{tørrluft}]	WI [mm]
MI1	N1	19,6 ^a	1000
MI2	N2	19,6 ^a	1500
MI3	N3	19,6 ^a	2400 ^b
MI4	N4 ^c	$I_{\min} = 7,2, I_{\max} = 19,6$	$I_{\min} = 180, I_{\max} = 2400$
MI5	N5 ^d	19,6 ^a	1500 ^e

^a DI_{max} i datasettet (Oslo)^b WI_{max} i datasettet (Bergen)^c $I_N = \frac{(I - I_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}$ ^d WI = slagregnindeks I_Θ^e WI_{max} = I_{Θmax} (Bergen)

Råteindeks (SI)

Formelverket presentert i kapittel 2.4 er benyttet til å beregne indeksen i Excel. Klima-parameterne temperatur og nedbør er anvendt til å beregne råteindeksen. Temperatur er beregnet om fra timesverdier til gjennomsnittlig månedstemperaturer. Nedbør skal basert på formelverket til råteindeksen angis som antall dager i løpet av en måned med $\geq 0,25$ mm nedbør. Nedbør per time er derfor omregnet til nedbør per dag og deretter er antall dager per måned med nedbør mer eller lik 0,25 mm telt opp. Leddet (T-2) er satt lik 0 for alle måneder med lavere gjennomsnittstemperatur enn 0°C. Dette er med å luke ut nedbør for disse månedene i beregningen av råteindeksen. Beregningsark for alle 12 byene ligger vedlagt i Vedlegg B.

Slagregnindeks (I_Θ)

Formelverket presentert i kapittel 2.5 er benyttet til å beregne indeksen i Excel. Formelen benytter seg i utgangspunktet ikke av timesbasert data. Nedbør er også her, i likhet med MI, omregnet til andel regn.

Pivottabellfunksjonen i Excel er benyttet til å sortere vindhastighet og andel regn basert på vindretning. Hver time som angitt med en vindretning er derfor samlet i et tabellformat. Videre er vindretningene sortert i 10 graders sektorer. Vindretningene kategoriseres derfor fra 0°- 9°, 10°- 19°, ... , 350°- 360°. Regn er summert og vindhastigheten er midlet for hver av 10-graderssektorene til vindretningene.

Videre er slagregnindeksen beregnet for hver 10. fasaderetning mellom 0 og 360 grader. For å luke ut alle vindretninger som ikke treffer den aktuelle fasaderetningen, er kun de vindretningene innenfor $\pm 80^\circ$ fra den gitte fasaderetningen summert. De vindretningene

som ikke inngår i områdebeskrivelsen er satt lik 0 for at disse retningene ikke skal telles med. Summeringen for hver beregnet fasaderetning er til slutt multiplisert med konstanten 0,206. Totalt er slagregnindeksen beregnet for 36 fasaderetninger. Den fasaderetningen blant de 36 som har størst slagregnindeks blir videre benyttet til å definere verste slagregnetning for den aktuelle byen. Beregningsark for alle 12 byene ligger vedlagt i Vedlegg C.

3.3 Normalverdier

Ekstremiteten i klimadataen i MDRY klimafilene er vurdert opp mot innhentet normalverdier. Norsk klimaservicesenter er benyttet til å hente inn normalverdier for årlig gjennomsnittlig temperatur og nedbør (Meteorologisk institutt, u.å.). Perioden 1961 - 1990 er benyttet for best sammenligning fordi MDRY filene innhar kun år i denne perioden, som vist i tabell 9. I tillegg er det hentet inn normalverdier for perioden 1991 - 2020 for å vurdere endring i ekstremiteten fra forrige til dagens normalperiode.

Fordi Norsk klimaservicesenter oppgir avvik fra den spesifikke normalperioden så er normalverdiene i oppgaven beregnet basert på værstatistikkens middeltemperatur og avvik fra normalen for et av årene. For kontroll av beregnet normalverdi, er to til tre år i statistikken brukt for å dobbelsjekke at riktig normalverdi er hentet ut. Det er forsøkt å finne likt stasjonsnummer som i MDRY klimafilene. Der det ikke er mulig er det stasjonsnummeret som ligger så nært geografisk som mulig benyttet. Tabell 11 viser de valgte värelementene når normalverdier er innhentet.

Tabell 11: *Oversikt over hvilken tidsoppløsning og valgte värelementer for værstatistikken hentet fra Meteorologisk institutt (u.å.).*

	Valgt
Tidsoppløsning	År
Värelementer	Middeltemperatur Middeltemperatur, avvik fra normalen 1961 - 1990 ^a Middeltemperatur, avvik fra normalen 1991 - 2020 ^a Årsnedbør Nedbør i forhold til normalen 1961 - 1990 ^b Nedbør i forhold til normalen 1991 - 2020 ^b
Tidsrom	Alle år
Stasjonsnummer	Kristiansand (39040), Oslo (18700), Gardermoen (4780), Kise på Hedmark (12550), Bergen (50540), Kristiansund (64260), Røros (10400), Trondheim (68170), Værnes (69100), Mo i rana (79480), Tromsø (90450), Karasjok (97250)

^a Aritmetisk gjennomsnitt av døgnmidler

^b Prosent [%]

3.4 Fuktsimulering av yttervegg

Videre er bruk av fuktsimuleringsprogrammet WUFI Pro beskrevet; valg av ytterveggoppbygging, startbetingelser, konvergenssjekk og utvalg av fuktindikatorer.

3.4.1 WUFI Pro

Fuktsimuleringene i oppgaven er gjennomført med dataprogrammet WUFI Pro. WUFI Pro er et en-dimensjonalt analyseprogram for ikke-stasjonære varme- og fuktforhold i bygningsdeler og er utviklet av Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) (Thue *et al.*, 2008). WUFI Pro benytter fuktavhengige materialparametre og inkluderer slagregn og stråling som del av den utvendige klimadataen. WUFI egner seg for vurdering av blant annet uttørkingstiden for byggfukt, virkningen av slagregn mot utvendige overflater og hygrottermiske forhold i ytterkonstruksjoner ved varierende klima eller i ekstreme klimaforhold.

3.4.2 Oppbygging av yttervegg og startbetingelser

For å forenkle beregningene er det valgt å se på kun en ytterveggløsning. For å ikke ta hensyn til hvordan klima inni luftespalter påvirker fuktforholdene i ytterveggen, er det utvalgt en ytterveggløsning uten lufter- og drenerende spalte. Ytterveggen er bygget opp med puss på isolasjon, med bindingsverk som bakliggende bærende vegg. Dette er ansett som en risikabel konstruksjon i mange klima, fordi utettheter i fasadeutformingen lett kan forårsake fuktskader (Byggforskeren 542.303, 2010). Det er ønskelig med så kritiske resultater som mulig når rangering av det utvendige klimaet er vurdert som følge av utvalgte fuktindikatorer i ytterveggen.

Tabell 12 lister de valgte materialene i ytterveggen, tilhørende tykkelser og startfuktinnhold. Startfuktinnhold er definert for hvert enkelt sjikt. Startfuktigheten til bygningsmaterialer som krever vann under produksjon vil ligge opptil mettet tilstand (Fraunhofer IBP, 2019, s. 36). Alle pussjikt er derfor satt til å ha mettet fuktinnhold ved start. OSB-platen og gipsplaten er gitt av 80 % relativ fuktighet ved start. Isolasjonsmaterialene er gitt ved 50 % relativ fuktighet ved start, som er den første tilgjengelige verdien etter 0 % i henhold til fuktlagringsfunksjonen i materialdataoversikten i WUFI Pro. Folie og sperresjiktene startfuktinnhold er tilnærmet lik 0. Starttemperatur over konstruksjonen er satt til 20°C. Det er ansett som tilstrekkelig fordi temperaturfordelingen tilpasses ute- og inneklimate i løpet av få timer (Thue *et al.*, 2008, s. 17).

Verdier knyttet til overflaters overgangskoeffisienter kan leses i Vedlegg E.

Simuleringene av den presenterte ytterveggen er gjennomført både uten og med fuktkilde implementert i materialsjiktet “*weather resistive barrier*”. Fuktkilden skal representere mulighet for sprekker og utettheter. Fuktkilden er plassert inn i ytterste element av

materialsjiktet. Kilden er definert til å representere 1 % av slagregngjennomtrengning i henhold til DIN-4108-3, som er standardinnstillingen i programmet. Plassering og mengde slagregngjennomtrengning er også i henhold til Aggarwal *et al.* (2021).

Tabell 12: *Materialsjikt og tilhørende tykkelser og startfuktinnhold.*

Materialsjikt	Tykkelse [mm]	Startfuktinnhold [kg/m ³]
Utvendig puss A		
Sjikt 1/4 (Yttersjikt)	4,0	192
Sjikt 2/4 (Motstand yttersjikt-grunningssjikt)	1,0	192
Sjikt 3/4 (Grunningssjikt)	1,4	160
Sjikt 4/4 (Motstand yttersjikt-grunningssjikt)	1,0	192
Rockwool rockboard	40	0,001
Weather resitive barrier	1,0	0,0005
OSB 3 (oriented strand board)	12,5	96
Mineralull (0,04 W/mK)	150	0,461
PE-folie 0,15mm (sd = 70 m)	1,0	0,0005
Gipsplate	12,5	3,6
Total tykkelse [mm]	237	
U-verdi [W/(m²K)]	0,185	

3.4.3 Uteklima

Uteklima er satt lik klima for seks utvalgte byer blant de 12 MDRY klimafilene. Byene er valgt basert på rangeringen blant de ulike fuktindeksene. Det er valgt ut to byer i hver av yttersjiktene basert på rangeringene til fuktindeksene, samt to midt i mellom.

De utvalgte byene er presentert i tabell 13 med tilhørende orientering mot verste slagregnretning for byen. Valg av verste slagregnretning i simuleringene er valgt basert på slagregnrosen i WUFIs klimaanalyse. Verste slagregnretning er valgt for å vurdere verste scenario for fuktpåkjenninger fra utvendig klima. Se Vedlegg E. Slagregnkoeffisienten er i henhold til standarden i programmet; $R1 = 0$ og $R2 = 0,07$. Bygningen er satt til høyde inntil 10 m (lav bygning).

3.4.4 Inneklima

Fordi inneklima ikke er vurdert som analyse-parameter innenfor oppgavens begrensning, er det valgt ut kun et inneklimateforhold som er benyttet for alle simuleringer. Geving og Thue (2002) oppgir at inneluftens vandampinnhold g/m^3 ved hjelp av innvendig fukttilskudd Δv er en god måte å beskrive den innvendige luftfuktigheten. Norlen og Andersson (1993,

Tabell 13: De seks utvalgte byene for simuleringer i WUFI Pro og tilhørende fasadeorientering ved simuleringene. Fasadeorienteringen er valgt basert på verste slagregnretning basert på slagregnrosen i klimaanalysen til WUFI Pro.

Sted	Fasadeorientering	
Oslo	Syd-øst	↘
Karasjok	Nord-øst	↗
Værnes	Vest	←
Trondheim	Syd-vest	↙
Kristiansund	Syd-vest	↙
Bergen	Syd	↓

beskrevet i Byggforskserien 451.031 (2013)) beskriver at erfaringstall for fuktktilskudd i boliger kan variere mellom 1 og 7 g/m³. Inneklima er derfor satt til ISO 13789 som ligger inne i programvaren WUFI Pro, der “Fuktklasse 3” som varierer mellom 1 og 6 g/m³ er valgt. Middelerdi er satt lik 20°C.

3.4.5 Beregningsperiode og numerikk

Simuleringene er kjørt for en tidsperiode på 3 år, med start 1. oktober. Tidstrinn er satt til en time.

Beregningstype er satt til både varme- og fukttransport. Både økt nøyaktighet og konvergensforbedring er satt på som numeriske parametre for alle gjennomførte simuleringer.

3.4.6 Konvergensfeil og numerisk sjekk

Konvergensfeil er et numerisk problem som kan oppstå ved simuleringer i WUFI (Thue *et al.*, 2008). Dersom simuleringen når det maksimale antall iterasjoner uten at løsningen tilfredsstillter sluttkriteriet i beregningstrinnet, vil antallet konvergensfeil i modellen økes. Antallet konvergensfeil som er oppgitt etter en simulering i WUFI Pro vil derfor være en indikasjon på beregningenes pålitelighet.

Implementering av fuktkilde kan medføre et høyt antall konvergensfeil på grunn av at kilden prøver å tilføre vann i et sjikt som allerede er mettet (Thue *et al.*, 2008).

For å vurdere tilregneligheten til simuleringene, er både antallet konvergensfeil og massebalansen gitt som fuktbalanse sjekket. I henhold til Fraunhofer IBP (u.å.-b) kan 50 konvergensfeil per år muligens, men ikke alltid, gi en indikasjon på at det er et problem i modellen. Massebalansen, gitt som balanse 1 og balanse 2, skal ideelt være helt like, men på grunn av avrunding kan disse to verdiene fravike hverandre noe (Thue *et al.*, 2008, s. 25). Dersom avviket er stort, burde det vurderes sammen med antallet konvergensfeil.

Dersom simuleringene gir et stort antall konvergensfeil eller store forskjeller i massebalansen, er adaptiv styring av tidstrinn skrudd på. Dette gjør at WUFI automatisk bytter til mindre tidstrinn når den oppdager numeriske problemer i modellen (Fraunhofer IBP, u.å.-b). De tidstrinnene som programmet oppdager som problematiske blir kjørt om igjen med finjusterte tidstrinn. For å dobbelsjekke at ikke konvergensfeilene medfører endringer i rangeringen av de seks klimaene, er dette gjennomført for simuleringene med fuktkilder for de seks utvalgte byene. Dette er gjort på grunn av høyere fuktnivåer som følge av slagregngjennomtrengning. Når adaptiv styring av tidstrinn er slått på, er følgende standardinnstillinger benyttet; delingstall på 3 og maksimal deltrinn på 5.

3.4.7 Utvalg av fuktindikatorer

For å gjøre det mulig å sammenligne klimaene, er valgt ut et par håndfaste tallverdier som skal fungere som fuktindikatorer i sammenligningen. Dette er gjort basert på inspirasjon fra Aggarwal *et al.* (2021), hvor vanninnholdet og en muggvekstindeks til en OSB-plate er brukt til å vurdere fuktforholdene i ytterveggen for historiske og fremtidige datasett som følge av endring av materialegenskaper.

Både vanninnholdet (VI) og muggvekstindeksen (MuI) er oppgitt som middelvei i sammenligningen av de ulike klimaene til hver av de seks byene. VI er importert som vektprosent (M-%) inn i Excel og tilsvarer det gjennomsnittlige vanninnholdet i hele OSB-platen over hele simuleringsperioden. Vektprosent vil være fordelaktig parameter da det er risiko for vekst av råtesopp i trevirke med mer enn 20 M-% (Byggforskserien 720.082, 2007).

MuI er hentet fra yttersiden av OSB-platen og er innhentet ved hjelp av WUFIs programtillegg WUFI Mould Index VVT 2.1. WUFI Mould Index VVT anvender en empirisk matematisk modell som beregner muggvekst basert på materialoverflater, temperatur og relativ fuktighet (Fraunhofer IBP, u.å.-b). MuI er også angitt som gjennomsnittlig verdi over hele simuleringsperioden. Filmfremvisningen (WUFI Animation 1D) i WUFI Pro er benyttet til å hente ut MuI fra ytterkanten av OSB-platen. Videre er følgende innstillinger definert i tabell 14 som del av VVT-programtillegget.

Tabell 14: *Innstillinger benyttet i programtillegget WUFI Mould Index VVT 2.1.*

Innstilling	Valgt
<i>Occupant exposition class</i>	Overflater på innsiden av konstruksjoner uten direkte kontakt med innendørs luft
<i>Wooden or natural materials</i>	OSB
<i>Sensitivity class</i>	Sensitiv ¹
<i>Material class</i>	Relativ liten reduksjon (0,25) ²
<i>Type of surface</i>	Glatt
<i>Type of wood</i>	Softwood

¹ Høvlet treverk, papirdekket produkter, trebaserte plater (Fraunhofer IBP, u.å.-a)

² Anbefalt reduksjonsfaktor (Fraunhofer IBP, u.å.-a)

3.4.8 Forhold mellom fuktforhold i yttervegg og fuktindekser

For å lettere sammenligne hvordan rangeringen av de ulike klimaene korrelerer med de ulike fuktindeksene, er det beregnet korrelasjonskoeffisienter og satt opp korrelasjonsdiagram av fuktindikatorene mot de ulike fuktindeksene.

Korrelasjon-funksjonen i Excel er benyttet til å beregne koeffisienten, R, for å bestemme forholdet mellom to og to variabler (Microsoft, u.å.). Korrelasjonskoeffisienter rangeres mellom - 1 og 1, og jo nærmere ± 1 , jo bedre korrelasjon er det mellom variablene sammenlignet. Negativ korrelasjonskoeffisient betyr at trenden i variablene synker, mens positiv korrelasjonskoeffisient betyr at trenden i variablene øker.

For å illustrere hvordan variablene differensierer fra hverandre og vurdere lineæriteten mellom rangeringene, er det også satt opp spredningsplot. Dette er inspirert fra hvordan Wang *et al.* (2021) har blant annet analysert sammenhengen mellom muggvekstindeks og MI.

3.5 Sensitivitetsanalyse av klimaparametre

Det er utført sensitivitetsanalyser av hvordan de ulike klimaparameterne påvirker utfallet av de tre klimaindeksene og de fuktforholdene i en utvalgt yttervegg i WUFI. Dette er gjort i mål om å se hvordan de ulike indeksene responderer på de samme endringene. Klimaparameterne er endret likt ved analyse av både fuktindeksene og i WUFI for å gjøre relative sammenligninger. Klimafilen for Trondheim er benyttet til å gjennomføre analysen. De ulike klimaparameterne er endret hver for seg $\pm 10\%$, 25% og 50% , samtidig som de resterende klimaparameterne er beholdt som konstante.

- Hver timesverdi for *nedbør* og *vindhastighet* er multiplisert med tilhørende prosentendring, eksempelvis 0,50 for - 50 % og 1,50 for + 50 %.

- Dette gjelder også for *relativ fuktighet*, men her er det påsett at RF aldri overstiger 100 %. Alle timesverdier som overstiger 100 % er satt lik 100 %. Årlig middel RF vil derfor ikke ha en fullstendig endring med + 25 % og + 50 %.
- *Temperaturen* er endret slik at negativ prosentendring tilsvarer at temperaturer for alle timesverdier, både pluss- og minusgrader, blir høyere, samt positiv prosentendring tilsvarer at temperaturen for alle timesverdier blir lavere. Hver timestemperatur er derfor endret med $\pm 0,54^{\circ}\text{C}$, $1,34^{\circ}\text{C}$ og $2,68^{\circ}\text{C}$, slik at årsmiddeltemperaturen i Trondheim er endret henholdsvis tilsvarende med $\pm 10\%$, 25% og 50% .

Hver av fuktindeksene er deretter beregnet igjen basert på de endrete klimaparameterne. Tidligere i oppgaven er MI og I_{Θ} beregnet basert på at snø er neglisjert ved å sette nedbør lik 0 for alle timer der temperaturene er minusgrader. For å unngå at endring i temperatur samtidig endrer utfallet for nedbør, er MI og I_{Θ} i sensitivitetsanalysen beregnet basert på alt nedbør i klimafilen.

Fordi ligningen for MI svikter dersom DI_N overstiger 1, er normaliseringsverdien til DI endret til å tilsvare den maksimale verdien i datasettet etter alle klimaparameterne er endret. N_{DI} ligger derfor på omtrent $30 \text{ kg}_{\text{vann}}/\text{kg}_{\text{tørrluft}}$. Det er valgt ut to normaliseringsordninger for WI for å vise hvordan normaliseringsordningen påvirker hvordan de ulike klimaparameterne endres basert på valgt normalisering. WI er normalisert basert på 1000 mm (N1) og 2400 mm (N3), slik som tidligere i oppgaven.

De samme endringene av hver klimaparametere er også benyttet til å gjennomføre fuktsimulering av den samme ytterveggkonstruksjonen som benyttet til å vurdere hvordan byer rangeres som følge av endring av geografisk plassering. Dette er gjort for å vurdere om fuktindeksene og fuktindikatorerne noenlunde følger de samme endringstrendene. For hver endret klimaparameter er det kjørt en simulering. WAC-generatoren på WUFIs nettsider er benyttet til å lage egne klimafilene som er lagt inn som klimafil i WUFI Pro (Fraunhofer IBP, u.å.-a).

Se Vedlegg E.4 for eksempel på utklipp av WAC-generatoren med de innlagte klimaparameterne. Det er kun de første 30 timene av totalt 8760 timer som er vist. De samme klimaparameterne; temperatur, nedbør, vindhastighet og relativ fuktighet er endret som i sensitivitetsanalysene for fuktindeksene. De andre innlagte klimaparameterne er beholdt konstante.

3.6 Styrker og svakheter ved metodene

Videre vil en rekke styrker og svakheter ved de ulike metodene i oppgaven trekkes frem.

3.6.1 Kontroll av MDRY klimafilene

MDRY klimafilene som er konstruert for fuktdimensjonering har usikkerheter knyttet til seg. Det er ikke gjort analyser som tar for seg påliteligheten bak klimaparameterne i MDRY klimafilene annet enn at de sammenlignes opp mot normalverdier. Dette sier dog ingenting direkte om påliteligheten til klimafilene, men heller hvordan klimadaten differensierer fra normalperioden. MDRY klimafilene skal representere en kritisk belastning på ulike konstruksjoner og det er derfor forventet at disse vil fravike fra klimadata for en normalperiode som er ansett som et gjennomsnittså. MDRY klimafilene er imidlertid utviklet av en av Norges fremste professorer innenfor fagområdet bygningsfysikk, og klimafilene anses derfor som en pålitelig kilde. Mer om usikkerheter bak MDRY klimafilene er presentert tidligere i kapittel 2.7.

3.6.2 Moisture index (MI)

MI er ikke kontrollert opp mot liknende indeksverdier, da disse aldri har vært beregnet basert på norsk klimadata før. Tross dette anses litteraturens presentasjon av beregningsgangen av fuktindeksen som god og etterprøvable. Beregningene følger formelverket presentert i litteraturen nøye og anses derfor å være kontrollert i den grad det er mulig.

Fordi det ikke er bevist at en normaliseringsordning nødvendigvis er mer egnet enn en annen, er det valgt ut fem normaliseringsordninger for å illustrere hvordan normaliseringsordningene påvirker rangering av byene og sammenhengen mellom DI og WI. Valg av normaliseringsordninger for MI er i stor grad inspirert av hvordan litteraturen har normalisert MI i Canada. Det er ikke gjort noen store endringer i hvordan DI normaliseres, fordi det er avgjørende at DI ligger under 1 for at definisjonen til MI skal fungere. Alternativene for normalisering av DI vil da innskrenkes. Ulempen ved at normaliseringsordningene er valgt basert på kvalifisert gjetning, er at usikkerheter kan medfølge. Det er mulig at andre normaliseringsordninger kan representere MI for det norske klimaet på en bedre måte.

For å kontrollere at omregning fra temperatur til mettet damptrykk ved beregning av tørkeindeks, DI, er gjort korrekt, er helgrader i beregningsarket kontrollert opp mot helgrader (temperatur °C og tilhørende metningstrykk) i metningstabell fra litteraturen (Thue, 2016, s. 291). Her vises det at ikke alle helgrader stemmer like godt med metningstabellen. Formelverket benyttet til å beregne det mettede damptrykket er likvel ansett som pålitelig og det er ikke gjort videre kontroll av disse avvikene. Avvikene er også ansett til å ha liten innvirkning på resulterende tørkeindeksen grunnet det er forholdet mellom mettet og omgivende damptrykk, bestemt av relativ fuktighet, som er mest avgjørende for hva tørkeindeksen ender på.

3.6.3 Råte- og slagregnindeks

Slagregn- og råteindeksen er vurdert opp mot innhentet verdier fra litteraturen. Disse verdiene er dog beregnet basert på annen klimadata enn denne oppgaven benytter og kan derfor ikke sammenlignes direkte. For å vurdere påliteligheten til beregningene er derfor normalklimadata for både årsmiddeltemperatur og årlig nedbør, og slagregn- og råteindekser benyttet.

Det prosentvise avviket fra normalverdier til årsmiddeltemperatur og årlig nedbør i MDRY klimafilen er beregnet for å vurdere om klimafilene er varmere/kaldere eller våtere/tørre enn et normalår. For å vurdere beregnet fuktindekser, er avviket til MDRY råte- og slagregnindeksene fra råte- og slagregnindekser basert på normalperioden 1961 - 1990 beregnet. Endringstrendene i årsmiddeltemperatur og nedbør benyttes som sammenligningsgrunnlag for å vurdere om fuktindeksene følger noenlunde den samme endringen. Råteindeksen sammenlignes mot årsmiddeltemperaturen og årlig nedbør, mens kun årlig nedbør benyttes som referanse for slagregnindeksen. Ulempen ved denne kontrollen er at det ikke mulig å sammenligne absolutt prosentvis avvik på grunn av at fuktindeksene beregnes basert på fler klimaparametre enn årlig middeltemperatur og nedbør. Likevel anses det som en god indikasjon å sammenligne trenden i økning/reduksjon i årsmiddeltemperaturen og årlig nedbør opp mot fuktindeksenes beregnet avvik fra samme normalperiode.

3.6.4 Fuktsimuleringer og fuktindikatorer

Det er kun sett på en variant av en ytterveggoppbygging i fuktsimuleringene. Det er ikke undersøkt hvordan klimarangering vil endres som følge av endring av type konstruksjon, materialvalg eller endring av andre startbetingelser. Disse begrensningene er valgt på grunn av tidsbegrensning og fordi hovedmålet med oppgaven er å vurdere forskjellen mellom de tre ulike fuktindeksene og ikke fuktforhold i ulike konstruksjoner alene. Ulempen med dette er at resultatene ikke nødvendigvis gjelder for andre typer oppbygginger eller andre materialvalg. Resultatene begrenser seg derfor til denne utvalgte ytterveggkonstruksjonen.

Det er ikke gjennomført andre metoder for kvalitetssjekk av selve programvaren. WUFI Pro er dog testet etter kriterier satt av Europeisk standard EN 15026, som stiller krav til simuleringsprogrammer benyttet til å analysere en-dimensjonale koblet varme- og fukttransport bygningskomponenter eksponert for transiente, altså ikke-stasjonære, klimaforhold både på utvendig og innvendig side (Fraunhofer IBP, 2022). Programvaren er et anerkjent fuktsimuleringsprogram og er benyttet i fagmiljøet verden over. Dette gjør at programmet er ansett som tilregnelig, så fremt brukeren benytter programmet på riktig måte. Fordi oppgaven begrenses til å vurdere rangeringen av de seks klimaene, anses det som godt nok med en enkel numerisk sjekk av simuleringene.

Fordelen med bruk av fuktindikatorer er at det gjør det lettere å sammenligne mot fuktin-

deksene. De fullstendige fuktforholdene i yttervegger kan dog ikke defineres med kun en tallverdi, fordi forholdene avhenger av mange ulike parametre. Deriblant avhenger fuktforholdene av det utvendige klimaet, oppbyggingen av ytterveggen, valg av materialer og inneklimaet. Svakheten ved bruken av fuktindikatorer er at de må sees på som en forenkling av ytterveggens forhold og at sammenligningen begrenses til forhold i et sjikt. Likevel er OSB-platen, som er et organisk materiale, vurdert som det mest kritiske sjiktet i ytterveggen. Alle eventuelle skader i pussene og tettesjiktet utenfor platen vil først og fremst påvirke OSB-platen, før eventuelt resten av bakveggen blir negativt påvirket av forholdene. Dette gjør det mest interessant å benytte en fuktindikator som sier noe om forholdene i dette sjiktet. En annen potensiell fuktindikator kunne vært RF-nivåer på utvendig side av OSB-platen. Muggvekstindeksen anses likevel til å gi noe av de samme indikasjonene for dette, da den beregnes basert på kritiske RF nivåer og temperaturer i yttersjiktet av OSB-platen.

Korrelasjonskoeffisientene i seg selv er ikke nødvendigvis et godt mål på hvordan klimaene er rangert som følge av de ulike fuktindeksene eller -indikatorer. Korrelasjonskoeffisienten gir dog en indikasjon på hvor godt de to variablene er samstemt med hverandre og for å vurdere betydningen av korrelasjonskoeffisientene er spredningsplott benyttet til å se hva som forårsaker sterk eller svak korrelasjon.

3.6.5 Muggvekstindeks basert på VVT-modellen

Ulempen ved bruk av en muggvekstindeks som fuktindikator er at muggvekst og utvikling av råte, som råteindeksen beskriver, ikke er det samme. Likevel er det beskrevet tidligere i kapittel 2.4 at både råtesopp og muggsopp er begge avhengig av like temperaturforhold.

I henhold til Fraunhofer IBP (u.å.-a) medfører reduksjonsfaktorene en betraktelig usikkerhet ved beregning av muggvekstindeksen. Det er ikke gjennomført videre analyser av hvordan reduksjonsfaktoren ved beregning av muggvekstindeksen påvirker sammenligningen mellom de utvalgte klimafilene. Programvaren anbefaler bruk av en reduksjonsfaktor på 0,25, som tilsvarer relativt liten reduksjon. Lav reduksjon i muggvekst er å anse å være på den sikre siden i følge Fraunhofer IBP (u.å.-a). I denne oppgaven er dette ansett å være godt nok, når målet er å vurdere rangeringen til de seks klimaene. Muggvekstindeksen i seg selv skal ikke benyttes til å gjennomføre en fullstendig risikoanalyse av ytterveggen.

Fraunhofer IBP (u.å.-a) presiserer også at på grunn av naturen til biologisk vekst og den samlede effekten av varme og fukttransport i konstruksjoner, så medfølger det flere usikkerheter bak beregning av muggvekstindeksen. Materialeegenskaper, sensitiviteten, tidligere fuktforhold og oppfukning av overflater har stor innvirkning på muggvekstforholdene i virkeligheten. Det er likevel studier som viser til at modellen gir en god tilnærming, inkludert en sikkerhetsmargin, til muggvekst i ulike materialer og ved ulike klimapåkjenninger.

4 Resultater

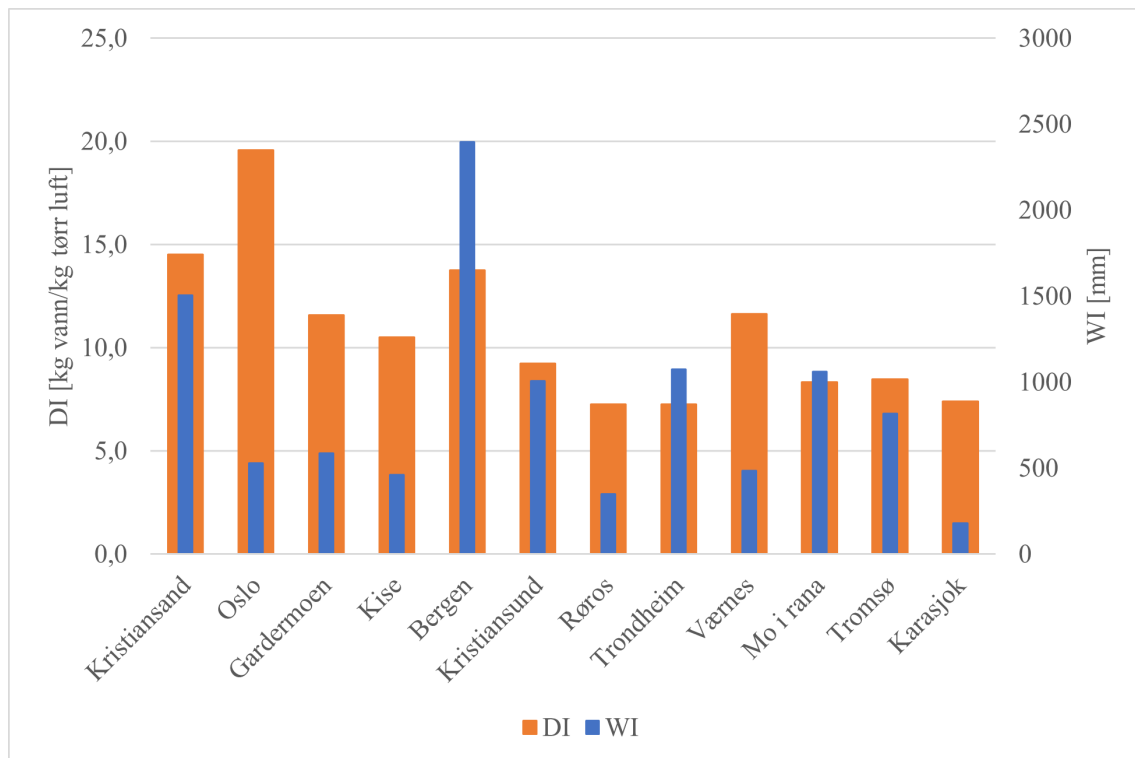
Videre vil resultatene som følge av beregning av de tre klimaindeksene presenteres. Korrelasjon ved rangering av byer basert på de tre fuktindeksene opp mot fuktindikatorerne, og sammenligning av MDRY klimafilenes klimaparametre mot normalverdier vil også presenteres.

4.1 Moisture index (MI)

Beregning av WI og DI både uten og med normaliseringsordninger, og resulterende MI for de 12 ulike byene vil presenteres videre.

4.1.1 WI og DI

Figur 11 illustrerer tørkekapasiteten, DI, og årlig summert regn for alle de 12 byene. Høy DI-verdi angir god tørkekapasitet, samt høy WI-verdi angir hvor mye regn som faller i løpet av et år.

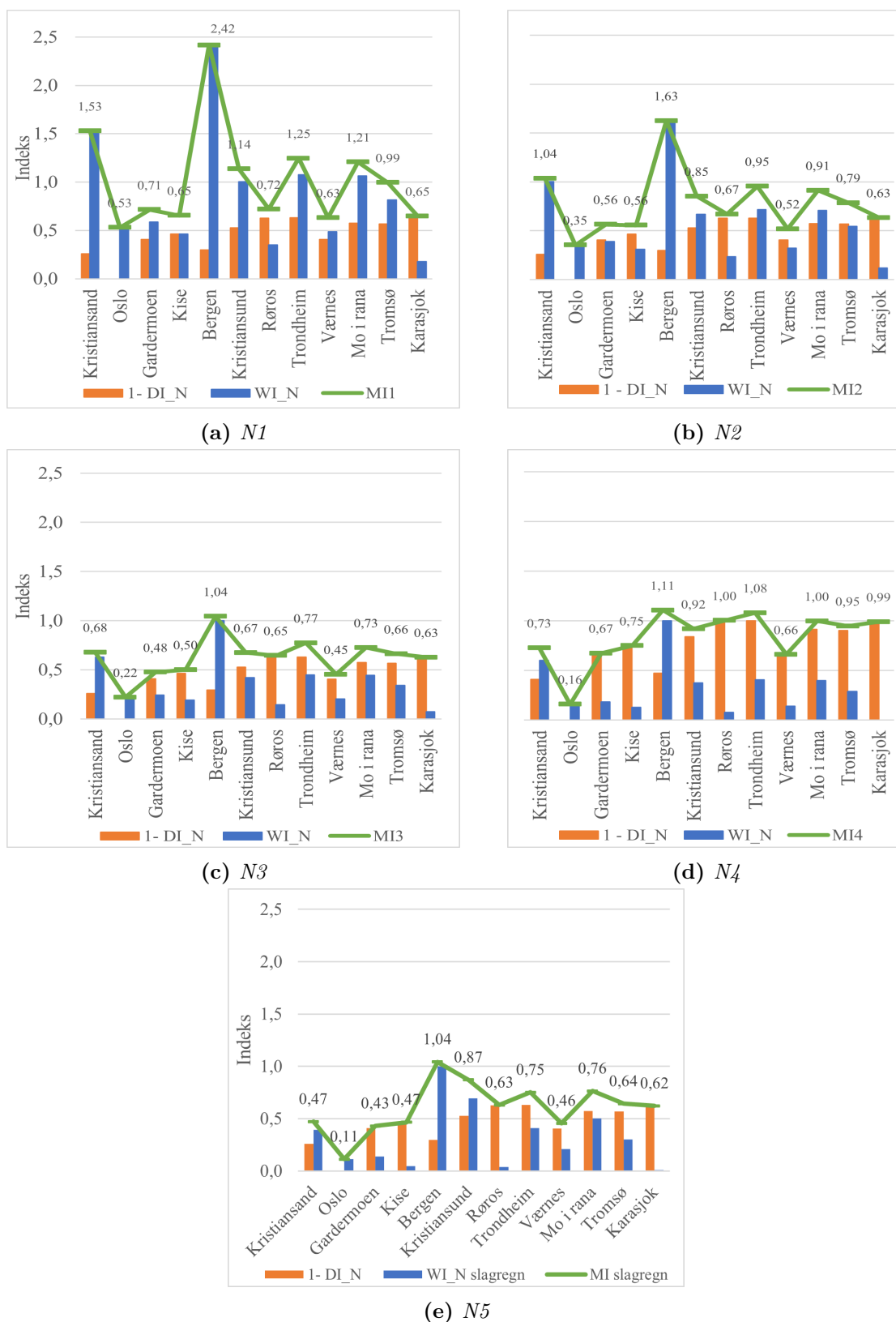


Figur 11: Beregnet tørkekapasitet, DI, og årlig regn, WI, for 12 byer i Norge. DI angis i enheten ($\text{kg}_{\text{vann}}/\text{kg}_{\text{tørrluft}}$). WI har enheten (mm).

4.1.2 Normalisering av WI og DI

Figur 12 illustrerer sammenhengen mellom WI, DI og MI basert på de fire utvalgte normaliseringsordningene. WI og DI er presentert som et stolpediagram og MI som et linjediagram. Høy verdi for $(1 - DI_N)$ indikerer lav tørkekapasitet og vise versa, grunnet DI er substituert fra 1.

Det vises her hvordan forholdet mellom $(1 - DI_N)$ og WI_N endres som følge av normaliseringsordning. N1 er for mange byer avgjort av WI_N , vist ved at de blå stolpene er dominerende. N4 er i langt større grad avgjort av $(1 - DI_N)$, hvor de oransje stolpene er dominerende for mange av byene. Fra N1 til N4, vil WI_N utgjøre mindre og mindre for byene. MI vil aldri synke nedenfor den høyeste verdien blant WI_N eller $(1 - DI_N)$ for hver av byene.



Figur 12: Stolpe- og linjediagram som illustrerer sammenhengen mellom DI, WI og MI for normaliseringsordningene N_1 , N_2 , N_3 , N_4 og N_5 . $(1-DI_N)$ (oransj) og WI_N (blå) illustreres som stolpediagram, mens beregnet MI illustreres som linjediagram. Tallverdiene for hver by tilhører MI (grønn).

4.1.3 Rangering av klima

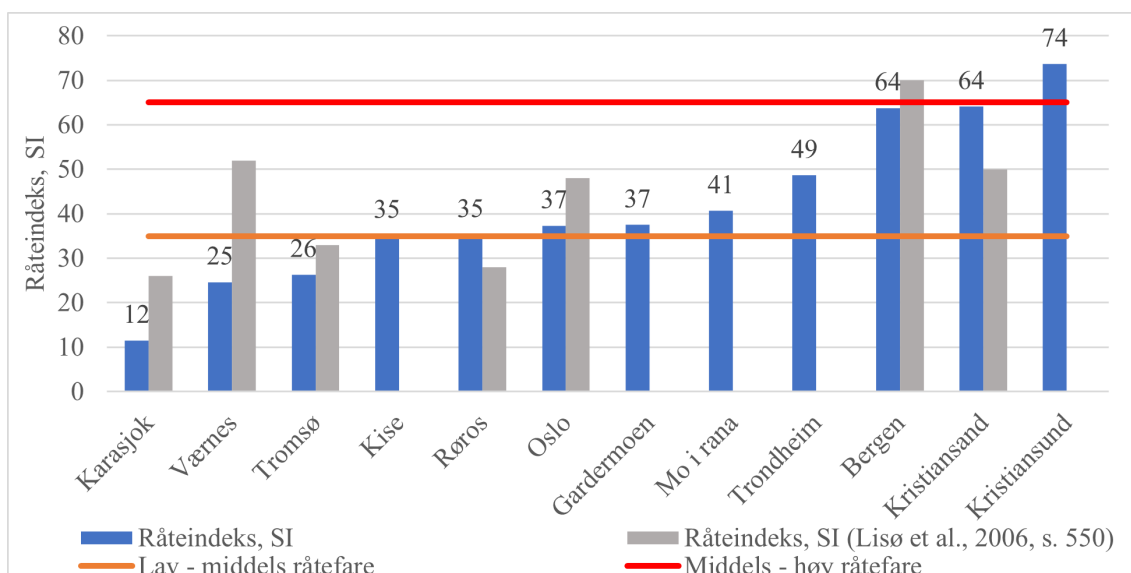
Tabell 15 oppgir hvordan MI rangerer de 12 ulike byene basert på de forskjellige måtene å normalisere indeksene på. Normaliseringsverdien til DI holdes konstant, utenom i det tilfellet der største og minste verdi benyttes. N5 representerer rangeringen til MI beregnet basert på slagregnindeksene, I_{Θ} . Verdiene normaliseres med hensyn på største verdier for både WI og DI. Rangeringen er basert på at 1 tilsvarer lavt potensial for fuktproblematikk og 12 tilsvarer høyt potensial for fuktproblematikk i sammenligningen. MI-verdiene som tilhører hver normaliseringsordning og de 12 byene er representert ovenfor i figur 12. Akseystemet for de fem ordningene som MIs hypotese er basert på er presentert i Vedlegg A.3.

Tabell 15: *Rangering av byer basert på de fire utvalgte normaliseringsordningene. Rangering 1 tilsier basert på hypotesen til fuktindeksen at stedet har minst potensiale for fuktproblematikk. Høyere rangering tilsier at stedet har høyere potensiale for fuktproblematikk i sammenligningen.*

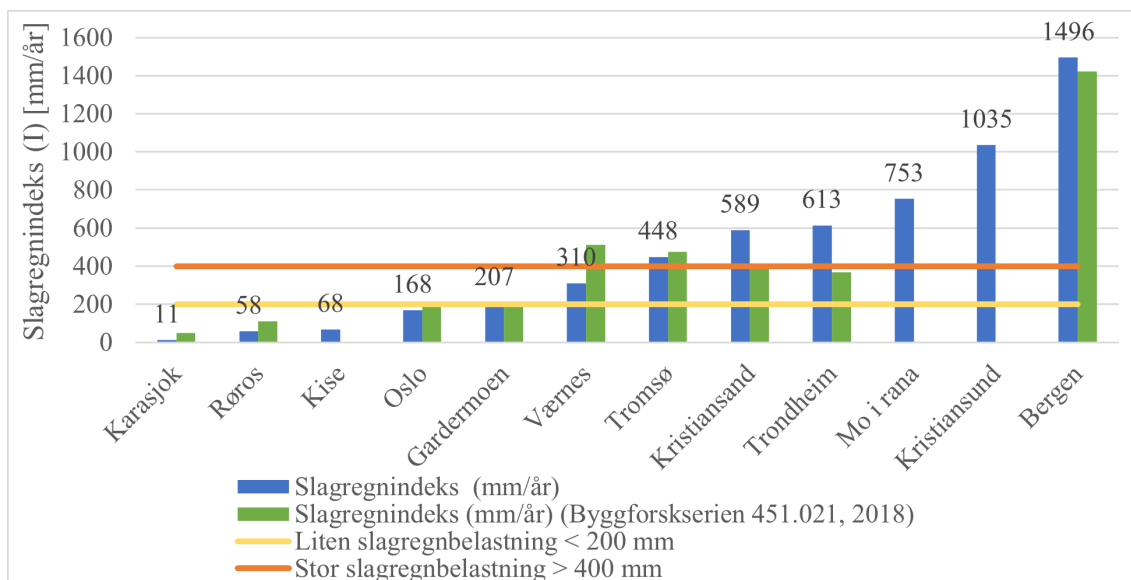
	N1	N2	N3	N4	N5 (I_{Θ})
	$N_{WI} = 1000,$ $N_{DI} = 19,6$	$N_{WI} = 1500$ $N_{DI} = 19,6$	$N_{WI} = 2400$ $N_{DI} = 19,6$	$I_N = \frac{(I-I_{\min})}{(I_{\max}-I_{\min})}$	$N_{WI} = 1496,$ $N_{DI} = 19,6$
1	Oslo	Oslo	Oslo	Oslo	Oslo
2	Værnes	Værnes	Værnes	Værnes	Gardermoen
3	Karasjok	Kise	Gardermoen	Gardermoen	Værnes
4	Kise	Gardermoen	Kise	Kristiansand	Kise
5	Gardermoen	Karasjok	Karasjok	Kise	Kristiansand
6	Røros	Røros	Røros	Kristiansund	Karasjok
7	Tromsø	Tromsø	Tromsø	Tromsø	Røros
8	Kristiansund	Kristiansund	Kristiansund	Karasjok	Tromsø
9	Mo i rana	Mo i rana	Kristiansand	Mo i rana	Trondheim
10	Trondheim	Trondheim	Mo i rana	Røros	Mo i rana
11	Kristiansand	Kristiansand	Trondheim	Trondheim	Kristiansund
12	Bergen	Bergen	Bergen	Bergen	Bergen

4.2 Råteindeks (SI) og slagregnindeks (I_{Θ})

Figur 13 og 14 illustrerer beregnet råteindekser og slagregnindeks for hver av de 12 byene. Tilhørende grenseverdier for klimasoneinndeling er angitt i diagrammene. Innhentet råte- og slagregnindeks som er basert på normalår i Lisø *et al.* (2006) og Byggforskserien 451.021 (2018) er også presentert for de byene som var mulig å hente inn verdier for. Begge diagrammene er presentert i stigende rekkefølge for fuktindeksverdiene beregnet fra MDRY klimafilene.



Figur 13: Beregnet råteindeks, SI, og innhentet råteindekser fra Lisø et al. (2006). Oransj linje tilsvarer grenseverdien mellom lav og middels råtefare, samt rød linje for mellom middels og høy råtefare. Verdiene over stolpene tilhører blå stolper.



Figur 14: Beregnet slagregnindeks, I_{Θ} (blå), og innhentet indekser fra Byggforskserien 451.021 (2018) (grønn). Gul linje tilsvarer grensen for liten slagregnbelastning og oransj linje tilsvarer grensen til stor slagregnbelastning. Verdiene over stolpene tilhører blå stolper.

4.3 Fuktindikatorer i yttervegg

Fuktforholdene i ytterveggen presenteres basert på de utvalgte fuktindikatorerne. Tabell 16 presenterer fuktindikatorernes verdier for hver av de seks byene. Tabellen inkluderer simulert tilfelle uten fuktkilde og med fuktkilde. For utvidet tabell med adaptiv justering av tidstrinn og grafer med fuktindikatorernes utvikling over 3 års simuleringen, se Vedlegg G.

Tabell 17 viser beregnet korrelasjonskoeffisienter mellom de ulike fuktindeksene og de to

Tabell 16: *Fuktindikatorer og verdier for ytterveggen simulert med fuktkilde.*

	Vanninnhold (VI) [M-%]		Muggvekstindeks (MuI) ^a	
	OSB		Ytterkant OSB	
	Uten fuktkilde ^b	Med fuktkilde ^c	Uten fuktkilde ^b	Med fuktkilde ^c
Karasjok	13,40	13,51	0,0000	0,0000
Oslo	13,12	14,02	0,0000	0,0008
Værnes	14,73	16,66	0,0003	0,5994
Kristiansund	16,14	20,61	0,0127	2,6404
Trondheim	15,46	18,90	0,1162	1,9734
Bergen	16,17	22,44	0,1463	2,7978

^a Muggvekstindeks basert på VVT-modell i WUFI Pro.

^b Uten slagregngjennomtrengning i ytterste element av det vanntette sjiktet foran OSB-platen

^c Med slagregngjennomtrengning i ytterste element av det vanntette sjiktet foran OSB-platen

utvalgte fuktindikatorer for den simulerte ytterveggen. Både simulert tilfelle uten fuktkilde og med fuktkilde på yttersiden av det vanntette sjiktet foran OSB-platen er listet. MI1, MI2, MI3, MI4 og MI5 tilsvarer beregnet MI-verdier basert på normaliseringsordningene N1, N2, N3, N4 og N5. MI5 er beregnet basert på at WI settes lik slagregnindeksen (I_{Θ}) beregnet for hver av stedene.

Verdier nære 1 tilsier at variablene har sterk korrelasjon. Endring i normaliseringsordning viser å ha stor innvirkning på korrelasjonen med de utvalgte fuktindikatorer, hvor MI1 har lavest korrelasjonskoeffisient, mens MI5 har sterkest korrelasjon blant variantene av MI. I_{Θ} har sterkest korrelasjon med både VI og MuI blant alle fuktindeksene. SI korrelerer noe bedre med MuI enn VI.

Tabell 17: *Korrelasjonskoeffisienter, R, mellom de ulike fuktindeksene og utvalgte fuktindikatorer; gjennomsnittlig muggvekstindeks (MuI) i ytterkant av OSB-platen og gjennomsnittlig vanninnhold (VI) i OSB-platen.*

	Indikator [Gj.snitt.]	Korrelasjonskoeffisient						
		SI	I_{Θ}	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5
Uten fuktkilde	MuI ^a	0,88	0,88	0,67	0,66	0,55	0,43	0,74
	VI ^b	0,82	0,90	0,76	0,77	0,76	0,66	0,85
Med fuktkilde	MuI ^a	0,91	0,94	0,83	0,82	0,79	0,64	0,86
	VI ^b	0,87	0,97	0,87	0,85	0,78	0,59	0,83

^a Muggvekstindeks ytterkant OSB-plate

^b Vanninnhold OSB-plate

Figur 15 illustrerer hvordan SI, I_{Θ} og MI rangerer de seks simulerte byene i forhold til gjennomsnittlig VI i OSB-platen for tilfellet med fuktkilde på ytterside av det vanntette sjiktet. Det er kun tilfellet med fuktkilde som er vist fordi korrelasjonskoeffisientene tilsier at sammenhengen mellom fuktindeksene og fuktindikatorer er bedre enn sammenlignet

med simulert tilfelle uten fuktkilde.

Punkter som ligger langt fra den lineære linjen indikerer avvik i rangeringen mellom de to sammenlignete variablene. Dersom alle punkter hadde ligget langs linjen, hadde det vist at indeksen og middel vanninnhold i OSB-platen hadde hatt perfekt korrelasjon.

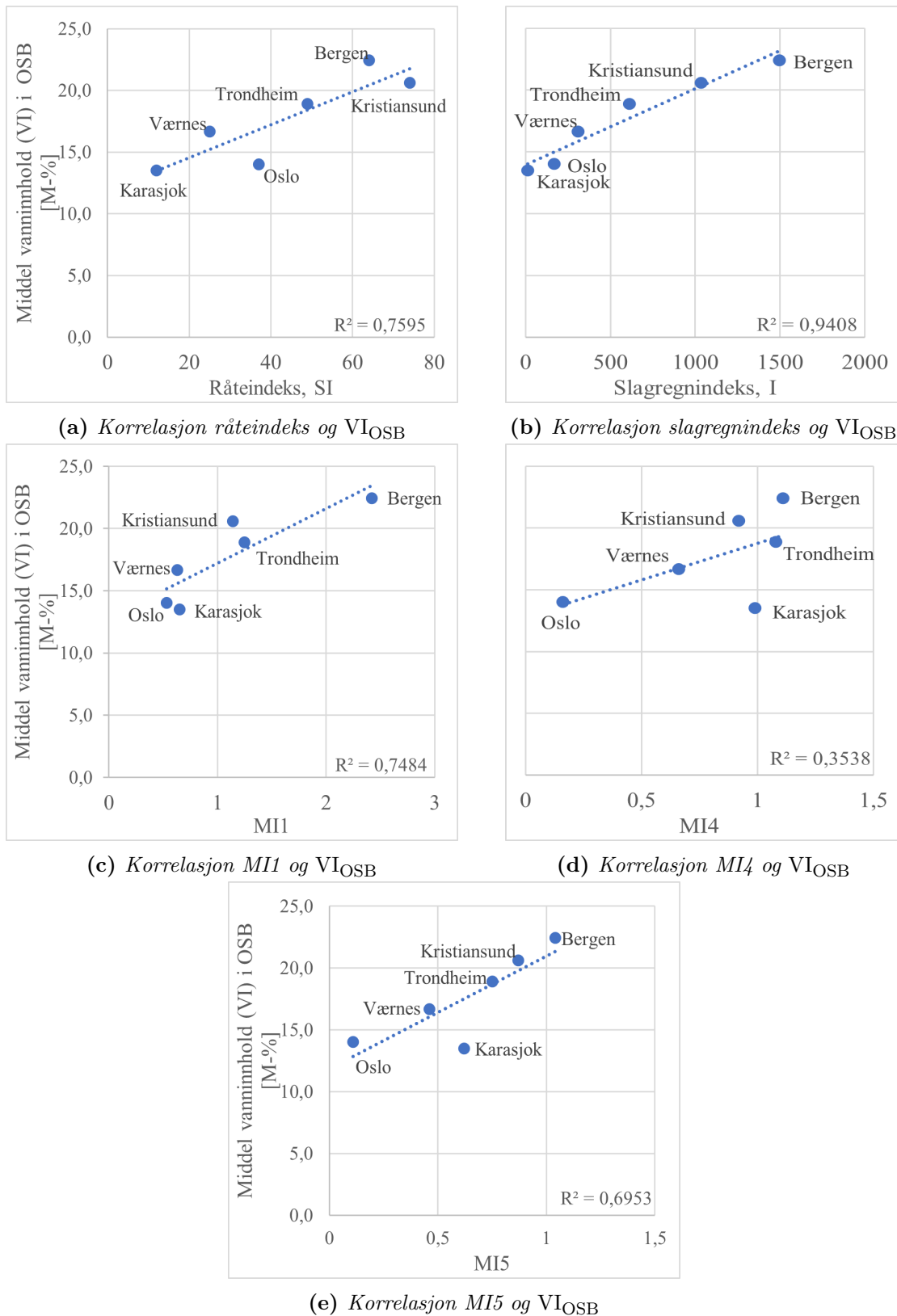
Figur 15a viser at både VI i OSB-platen og SI rangerer Karasjok lavest. Avviket mellom VI og SI, synes ved at Værnes ligger høyere enn Oslo, mens Oslo er forskjøvet lenger til høyre. Det samme gjelder Bergen og Kristiansund.

Figur 15b viser sterk korrelasjon mellom VI og I_{Θ} . Alle byene som ligger til høyre for det forrige punktet, ligger også høyere enn det forrige punktet. Dette viser at byene rangeres i samme rekkefølge for begge variablene.

Figur 15c viser uregelmessighet i hvordan de to variablene rangerer de seks byene. Trondheim og Kristiansund rangeres motsatt, samt Oslo og Karasjok.

Figur 15d viser enda større avvik enn for MI1. Karasjok ligger langt unna den lineære trenden mellom variablene. I henhold til MI4 er Karasjok rangert mellom Kristiansund og Trondheim, mens VI rangerer Karasjok foran Oslo fordi punktet ligger nedenfor Oslo langs Y-aksen.

Figur 15e viser at alle byene, utenom Karasjok, rangeres likt som følge av VI og MI5. Karasjok ligger hakket nedenfor Oslo langs Y-aksen, mens MI5 rangerer Karasjok mellom Værnes og Trondheim langs X-aksen.



Figur 15: Forholdet mellom gjennomsnittlig vanninnhold i OSB-platen (VI), og SI , I_{Θ} , $MI1$, $MI4$ og $MI5$ hver for seg. Simulert tilfelle med fuktkilde implementert i det vanntette sjiktet utenfor OSB-platen. Y-aksen er lik for alle diagrammene. Den blå stiplede linjen illustrerer den lineære trenden til rangeringen av byene.

4.4 Klimaparametre mot normalverdier

For å vurdere ekstremiteten i MDRY klimafilene er gjennomsnittlig årstemperatur og årlig totalt nedbør sammenlignet med normalverdier. Beregnet slagregn- og råteindekser er sammenlignet opp mot verdier hentet fra litteraturen med normalperiode 1961-1990.

4.4.1 Gjennomsnittlig årstemperatur og totalt nedbør mot normalverdier

Gjennomsnittlig årstemperatur og årlig totalt nedbør beregnet basert på MDRY klimafilene sammenlignes mot årsmiddeltemperaturen og årsnedbør fra perioden 1961 - 1990, og er presentert i tabell 18. Den prosentvise forskjellen for hver av klimaparameterne defineres som MDRY verdiens avvik fra normalverdien. Normalperioden 1961 - 1990 er benyttet fordi MDRY klimafilene inneholder kun år fra denne perioden. I Vedlegg D presenteres det en utvidet tabelloversikt, hvor også den nyeste normalperioden er inkludert, samt er temperaturens differanse i °C fra normalperiodene også inkludert.

Tabell 18: Årsmiddeltemperatur og årlig nedbør beregnet basert på MDRY klimafilene (MDRY) sammenlignet med normalverdier (N-1961-1990) hentet fra Meteorologisk institutt (u.å.). MDRY verdiens prosentvise avvik fra normalverdiene for både temperatur og nedbør er beregnet.

Sted	Årsmiddeltemperatur [°C]			Årlig nedbør [mm]		
	N-1961-1990 ^b	MDRY	%-forskjell	N-1961-1990 ^b	MDRY	%-forskjell
Kristiansand	6,6	7,3	+ 10,6	1299	1643	+ 26,4
Oslo ^a	5,7	6,8	+ 20,1	763	599	- 21,4
Gardermoen	3,8	4,2	+ 10,2	862	772	- 10,4
Kise	3,6	4,6	+ 26,5	585	533	- 8,9
Bergen	7,6	8,1	+ 6,8	2250	2413	+ 7,3
Kristiansund	6,6	7,7	+ 16,1	1224	1139	- 6,9
Røros	0,3	- 0,9	- 394,8	504	540	+ 7,2
Trondheim	4,9	5,4	+ 9,4	850	1216	+ 43,1
Værnes	5,3	4,6	- 14,1	892	642	- 28,1
Mo i rana	2,8	3,3	+ 16,9	1431	1292	- 9,7
Tromsø	2,5	2,1	- 15,9	1031	1275	+ 23,7
Karasjok	-2,4	-3,1	- 28,6	366	240	- 34,5

^a Blindern

^b (Meteorologisk institutt, u.å.)

4.4.2 Råte- og slagregnindekser mot normalverdier

Både beregnet og innhentet slagregn- og råteindekser er illustrert i tabell 19 og 20. Innhentet verdier er basert på normalperioden 1961 - 1990 og er tidligere presentert i kapittel 2.

Tabell 19: Beregnet slagregnindekser (MDRY) og tilhørende fasaderetninger sammenlignet med innhentet verdier fra Byggforskserien 451.021 (2018) som er basert på normalperioden 1961 - 1990. MDRY-verdiene prosentvise avvik fra normalverdier er beregnet.

Sted	Fasaderetning [°]		Maks slagregn [mm/år]		
	N-1961-1990 ^a	MDRY	N-1961-1990 ^a	MDRY	%-forskjell
Kristiansand	210	210	401	589	+ 46,9
Oslo	180	180	196	168	- 14,1
Gardermoen	170	170	213	207	- 2,6
Kise	-	120	-	68	
Bergen	170	160	1423	1496	+ 5,1
Kristiansund	-	240	-	1035	
Røros	310	330	111	58	- 48,0
Trondheim	250	250	368	613	+ 66,7
Værnes	270	270	513	310	- 39,6
Mo i rana	-	240	-	753	
Tromsø	220	230	474	448	- 5,4
Karasjok	100	40	49	11	- 77,0

^a (Byggforskserien 451.021, 2018)

Tabell 20: Beregnet råteindekser (MDRY) sammenlignet med innhentet verdier basert på normalperioden 1961 - 1990. MDRY-verdiene avvik fra normalverdiene er beregnet.

Sted	Råteindeks, SI		
	N-1961-1990 ^a	MDRY	%-forskjell
Kristiansand	50	64	+ 28,2
Oslo	48	37	- 22,3
Gardermoen	-	37	
Kise	-	35	
Bergen	70	64	- 8,9
Kristiansund	-	74	
Røros	28	35	+ 26,0
Trondheim	-	49	
Værnes	52	25	- 52,6
Mo i rana	-	41	
Tromsø	33	26	- 20,3
Karasjok	26	12	- 55,7

^a (Lisø *et al.*, 2006)

5 Diskusjon

Videre vil funn basert på litteraturstudiet og analysene diskuteres. Forskningsspørsmålene er besvart i hvert sitt under-kapittel, og det innebærer diskusjon rundt dagens anvendelse av fuktindekser i fuktprosjektering, forskjeller og likheter mellom *Moisture index* (MI), råteindeks (SI) og slagregnindeks (I_{Θ}) og hva som skal til for å benytte fuktindekser i fuktprosjektering videre.

5.1 Anvendelse av fuktindekser i fuktprosjektering av bygninger i dag

“Hvordan kan fuktindekser benyttes i fuktprosjektering av bygninger?”

Fuktindekser er først og fremst et nyttig verktøy for å vurdere hvordan klimapåkjenninger varierer over landet. De er rett og slett en måte å bryte ned det kompliserte fenomenet klima til en håndfast tallverdi og benytte disse verdiene til å definere eller klassifisere hvor hardt en klima på et gitt sted er. Temperatur, vind, nedbør, solstråling og fuktighet i luft er alle parametre som er med på å definere om et klima kan anses som hardt eller ikke. Mange av disse parameterne henger sammen og gjør at klima i realiteten er et svært koblet system. I tillegg er det en rekke andre faktorer som har innvirkning, som omkringliggende hindringer for vind og solstråling. Dette gjør det komplisert å definere en indeks til å angi hvordan alle disse parameterne henger sammen og hvordan dette igjen påvirker fuktforholdene i klimaskallet til bygninger.

De aller fleste fuktindeksene som benyttes i litteraturen i dag forenklet og angitt av kun et par klimaparametere. Dette gjør at fuktindeksene som benyttes, ikke alene kan definere den fullstendige realiteten i klimapåkjenningene på bygningene våre. Likevel vises det at en del av fuktindeksene som er utarbeidet oppgjennom tidene kan gi en god indikasjon på klimapåkjenningenes effekt på bygningene, og kan fungere som et godt verktøy i fuktprosjekteringen.

Litteraturen viser til en rekke aktuelle bruksområder for de ulike fuktindeksene. Tabell 21 oppsummerer en rekke aktuelle bruksområder som er observert i litteraturen. Dette er en grov inndeling og er kun basert på den litteraturen som er innhentet i denne oppgaven. Alle tre fuktindeksene benyttes til å definere klimasoneinndelinger og visuelle kart. Grenseverdier kan angi to eller flere ulike klimasoner, og aller typisk deles de inn i en tre-delt klimasoneinndeling. Klimasoneinndelingen er da definert som lav, middels og høy påkjenning, avhengig av hvilket klimafenomen indeksen er definert for. Både slagregn- og råteindeksen er delt inn i tre klimasoner. MI er i den canadiske litteraturen presentert med en noe mer findelt klimasoneinndeling og deles typisk inn i 5 soner.

Hvordan fuktindeksene deles inn i klimasoner er essensielt for hvordan de skal benyttes i fuktprosjektering av bygninger. Det er disse sonene som er med på å bestemme hvordan det

Tabell 21: *Oversikt over hvordan de ulike fuktindeksene har vært brukt basert på funn i litteraturen.*

Bruksområde	MI	SI	I _θ
Klimasoneinndeling	x	x	x
Visuell kartfremstilling	x	x	x
Fremtidige klimaendringer	x	x	-
Valg av MDRY	x	-	-
Byggtekniske anbefalinger			
Lufte- og dreneringspalte	-	-	x
Beslag	-	-	x
Fasadepuss	-	-	x

skal bygges for et hvert sted som ligger i hver av sonene. I Norge er for eksempel slagregnindeksen langt mer utbredt når det kommer til bruk i fuktprosjekteringen sammenlignet med råteindeksen. Slagregnindeksen er funnet til å definere en rekke byggtekniske anbefalinger, knyttet til oppbygging og materialbruk i bygningsskallet. SINTEF har utviklet et tabellverk som presiserer anbefalinger for lufte- og dreneringspalten for steder innenfor en av de tre klimasonene definert med slagregnindeksen. Dette fungerer da som et oppslagsverk for fuktprosjekterende og kan brukes direkte som del av fuktprosjekteringen av bygninger. Dette er med på å bidra til at fuktprosjekteringen kan lettere ta hensyn til hvordan klimaet differensierer fra sted til sted.

Hvorfor råteindeksen er ikke benyttet direkte som del av byggforsks ansvisninger, slik som slagregnindeksen, er ikke kjent. Likevel kan det tenkes at fordi slagregn er et fysisk fenomen som påvirker direkte hvordan eksponerte materialer suger opp vann, hvor mye vann som trenger gjennom glipper og hulrom i kledningsutformingen, og til og med tilsmussing av ulike fasadekledninger, så er det lettere å benytte slagregnindeksen til konkrete anbefalinger. Råteindeksen er knyttet til en spesifikk degraderingsprosess heller enn en direkte klimapåkjenning. Det skal også nevnes at god prosjektering mot slagregn vil også ha motvirkende effekt mot potensielle råteproblemer. Dog kan det hende råteindeksen også kan fungere som en indikasjon på hvor mye begroing en kan forvente på for eksempel trebaserte utvendige kledninger som følge av temperaturforhold og nedbørseksponering.

Noe som er mye omtalt i litteraturen er bruk av fuktindekser som en måte å predikere fremtidige klimaendringer. Ved å beregne fuktindeksene med fremtidige predikerte klimafilere, vil det være mulig å direkte sammenligne disse med fuktindekser som er beregnet basert på historiske klimafilere. Sammen med gitte klimasoner illustrert som visuelle kart, er dette en svært illustrativ måte å se hvordan fuktprosjekteringen av bygninger må forholde seg til de fremtidige klimaendringene. Bygninger skal typisk prosjekteres med en levetid på 50 år eller mer, og det er derfor spesielt viktig å være inneforstått med at fuktsikringstiltak som er gode nok i dag ikke nødvendigvis er gode nok i fremtiden. Dette betyr at

det forventes at det blir mer fuktskader dersom det ikke planlegges slik at bygningsskallet tåler disse klimaendringene. Fuktindekser kan derfor benyttes i fuktprosjekteringen som et preventivt tiltak mot fuktskader som oppstår på grunn av klimaendringer.

MDRY klimafilere er et viktig verktøy innenfor fuktprosjekteringen i bransjen, men utviklingen av den er aller mest knyttet til forskning og akademia. Bruken av fuktindekser kan potensielt være en måte å stykke opp klimapåkjenningene for enklere evaluering av gode fuktdimensjoneringsår. Litteraturen har utprøvd bruken av MI ved valg av MDRYs, eller MRY som også det heter i den internasjonale litteraturen. Den største utfordringen funnet ved bruk av MI til dette formålet, er knyttet til at MI ser isolert på det utvendige klimaet. Litteraturen påpeker at MI sammenlignet med andre metoder som vurderer konstruksjoners ytelse eller respons, ikke fungerer like godt ved valg av MRY. Det nevnes likevel at metode for valg av MDRY avhenger av formålet med MDRY-en og at utvalg av MDRY basert på MI kan egne seg bedre til noen formål enn andre. Likevel tyder det på at bruk av MI til dette formålet i fuktprosjekteringen muligens har behov for videre evaluering før direkte implementering i fuktprosjekteringen på grunn av medfølgende usikkerheter.

5.2 Forskjellen mellom fuktindeksene MI, SI og I_{Θ}

Videre vil resultatene presentert i kapittel 4 diskuteres, samt vil sensitivitetsanalyser av klimaparameterne i fuktindeksene og WUFI presenteres og vurderes. Ekstremiteten til MDRY klimafilene, samt kontroll av råte- og slagregnindeksen vil også diskuteres. Forskningsspørsmålet som ønskes svar på er som følger;

“Hva er forskjellene mellom Moisture index (MI), råteindeksen (SI) og slagregnindeksen (I_{Θ})?”

5.2.1 Klimaparametre og formelverk

MI, SI og I_{Θ} tar først og fremst for seg de ulike klimaparameterne på forskjellige måter. MI tar i utgangspunktet for seg grunnklimaparameterne temperatur, relativ fuktighet og nedbør, noe som gjør at den har likheter med både råteindeksen og slagregnindeksen. Tabell 22 oppsummerer hvilke klimaparametre de tre fuktindeksene tar for seg i beregningene.

Som vist i tabell 22 tar alle tre indeksene for seg nedbør som klimaparameter. Nedbør er den største kilden til fukt og er derfor helt essensiell for å vurdere fuktforhold i ytterkonstruksjoner. Hvordan indeksene benytter nedbør er likevel veldig ulik. MI tar for seg andel regn som faller totalt i løpet av et år. Regnets fallfordeling i løpet av året er derfor irrelevant slik den er definert her. SI vil derimot beregnes basert på antall dager i løpet av en måned med 0,25 mm eller mer nedbør per dag. Det vil si at SI skiller ut alle dager med mindre enn 0,25 mm nedbør, da dette er ansett som ubetydelig i sammenheng

Tabell 22: Oversikt over hvilke klimaparametre som benyttes til beregning av *Moisture index (MI)*, råteindeks (*SI*) og slagregnindeksen (I_{Θ}).

	Temperatur	RF	Nedbør	Vindhastighet	Vindretning	Solstråling
MI	x	x	x^a	x^d	x^d	
SI	x		x^b			
I_{Θ}			x^c	x	x	

^a Årlig summert regn

^b Antall dager per måned med $\geq 0,25$ mm nedbør

^c Regn sortert etter vindretning

^d Dersom WI defineres basert på slagregnindeksen

med risikoen for råte. I_{Θ} skiller ikke på hvordan regnet fordeler seg i løpet av dager eller måneder, men basert på vindretning.

Litteraturen for MI viser til at årlig regnmengde er et godt nok mål for hvordan byer rangeres fra tørt til vått. Det er likevel bemerkelsesverdig at WI i MI defineres såpass enkelt, sammenlignet med SI og I_{Θ} . Litteraturen presenterer også at det er mulig å beregne WI basert på formler for slagregn. Litteraturen henviser til at dersom en ønsker å vurdere fuktpåkjenninger på en spesifikk fasadeorientering, er det helt essensielt å anvende en slagregnberegning for WI istedenfor den totale mengden regn i løpet av et år. Dette tatt i betraktning, vil MI dekke alle 4 klimaparametre som SI og I_{Θ} tar for seg til sammen, samt supplere med RF i tillegg.

Både MI og SI benytter temperatur ved beregning. Dog vil MI benytte temperaturen som et steg på veien til å beregne den såkalte tørkeindeksen, DI. Temperaturene benyttes til å beregne vanndamptrykket i luften ved mettet tilstand, fordi vanndamptrykket er avhengig av temperatur. SI benytter derimot temperatur direkte, hvor månedsmidler for temperaturen anvendes. Råte er helt avhengig av temperaturforholdene i det utvendige klimaet og temperatur kan derfor anses som helt essensielt i mål om å definere råterisikoen i ulike klima. Selvom MI også benytter temperatur, vil omregning til vanndamptrykk medføre at MI og SI evaluerer klimaforholdene forskjellig. Ikke minst er temperaturen anvendt slik at SI forteller noe om en grensetilstand i forhold til råtefare. Ved å subtrahere månedsmidlene for temperatur med 2, som i henhold til litteraturen er den laveste temperaturen råte kan oppstå i treverk, relateres SI til det fysiske fenomenet råteskader. MI derimot setter sammen to fysiske klimafenomener, fukttilskudd og fukttap, uten å knytte det opp mot noe mer i byggeteknisk forstand.

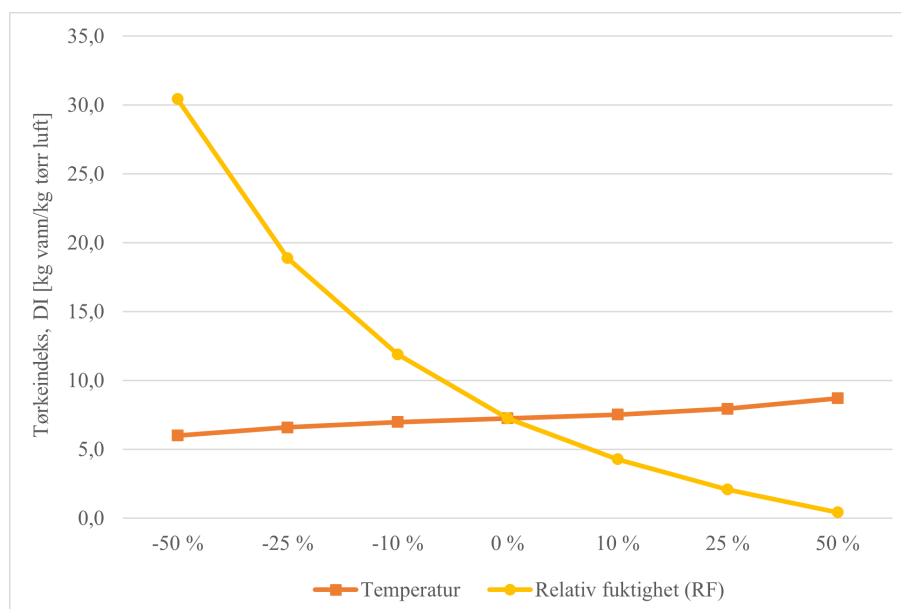
MI er i tillegg den eneste indeksen som anvender RF i beregningene. RF forteller ingenting om det absolutte vanndampinnholdet i luften og benyttes derfor sammen med temperatur til å definere luftens vanndamptrykk, for så å deretter definere vanndampinnholdet som forholdet mellom mettet og faktisk tilstand i luften. Den største forskjellen fra de to andre fuktindeksene er da i realiteten at MI anvender vanndampinnholdet i luften til å definere fuktforholdene.

Hverken MI, SI eller I_{Θ} vurderer effekten av solstråling. Hvilken påvirkning solstråling har for ytterveggers fuktforhold eller heller ikke analysert i denne oppgaven. Likevel er det viktig å påpeke at dette i realiteten har stor innvirkning på uttørking av yttervegger. Dette indikerer igjen hvordan fuktindeksene er svært forenklet sammenlignet med det faktiske sammensatte klimaet.

5.2.2 Fuktindeksenes sensitivitet ovenfor de ulike klimaparameterne

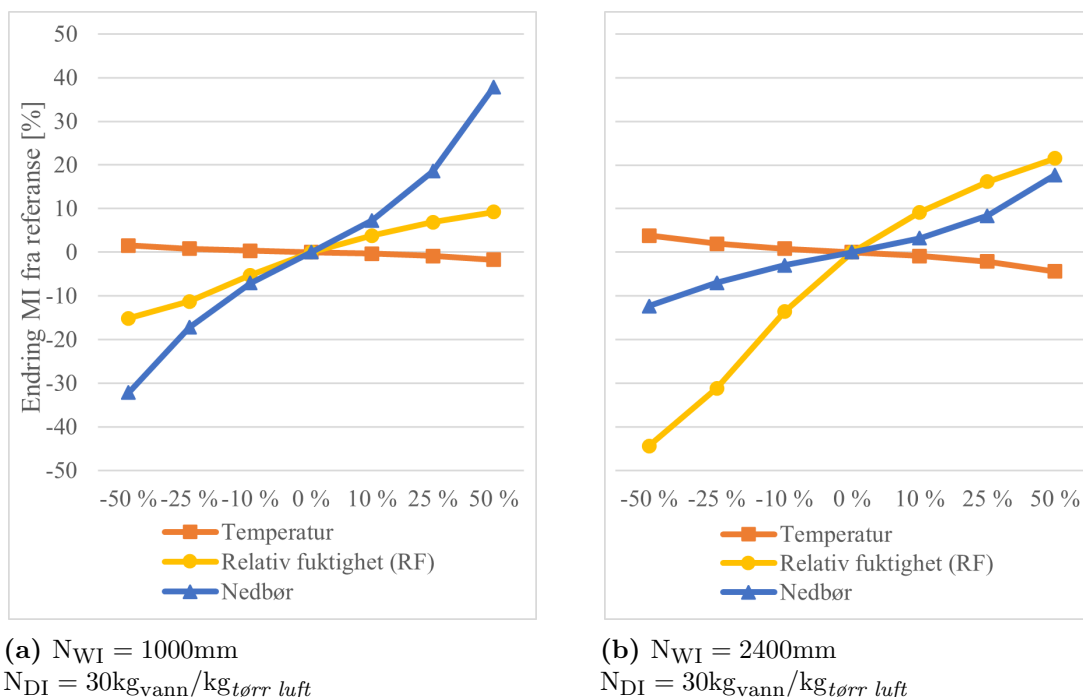
Fordi formelverket til de ulike fuktindeksene tar for seg klimaparameterne på forskjellige måter, er det interessant å se hvordan indeksene reagerer på endring av klimaparameterne. Kapittel 3 beskriver hvordan sensitivitetsanalysene for de ulike indeksene er satt opp og hvordan endringene gjennomføres. Analysene er kun gjennomført for Trondheims klima.

Figur 16 illustrerer nettopp sammenhengen mellom temperatur og RF ved beregning av DI. Her vises det tydelig at RF i aller høyeste grad er utslagsgivende for beregningen av DI. Negativ prosentendring av temperatur, hvor enhver timesverdi reduseres med enten $0,54^{\circ}\text{C}$ (- 10 %), $1,34^{\circ}\text{C}$ (-25 %) eller $2,68^{\circ}\text{C}$ (-50 %), gir noe lavere DI-verdier. Dette skyldes at kald luft i seg selv kan holde på mindre vanndamp enn varm luft og dermed har dårligere tørkekapasitet. Likevel vises det hvordan DI er mest sensitiv ovenfor RF, hvor hver timesverdi for RF multipliseres med henholdsvis 0,90 (-10 %), 0,75 (- 25%) eller 0,50 (- 50 %). RF bestemmer forholdet mellom mettet og faktisk tilstand i luften, og da det er dette forholdet som avgjør DI, er det naturlig at tørkekapasiteten i stor grad avgjøres av RF-nivåene.



Figur 16: Sensitivitetsanalyse av tørkeindeks, DI, der klimaparameterne temperatur og relativ fuktighet endres. Klimadata for Trondheim er benyttet. Endring av relativ fuktighet i positiv retning gir ikke fullstendig 25 % og 50 % endring på grunn av alle timer der RF > 100% settes lik 100 %, for å unngå verdier over 100 %.

Figur 17 illustrerer hvordan temperatur, RF og nedbør innvirker på MI. MI er motsatt sensitiv for temperatur og RF, enn DI alene. Dette skyldes at DI subtraheres fra 1 ved beregning av MI. Hypotesen til MI baseres på at høy tørkekapasitet skal begrense fuktpåkjenningene fordi luften i seg selv har rom til å oppta vanndamp og bidrar til raskere uttørking av omgivelsene. Dette synes ved at varmere årsmiddeltemperaturer (positiv prosentendring) medfører en reduksjon i MI. Likeså vil MI øke i takt med økende RF nivåer. RF oppimot eller lik 100 % tilsier at luften har nesten eller nådd sitt metningspunkt, og kan ikke ta opp mer vanndamp. Luften har da ikke mulighet til å bidra til ytterligere uttørking av konstruksjoner. MI vil også naturlig nok øke i takt med økte nedbørmengder.



Figur 17: Sensitivitetsanalyse av MI basert på endring av klimaparameterne temperatur, relativ fuktighet og nedbør. Normaliseringsverdi for DI holdes konstant. Diagram a) er normalisert basert på 1000 mm, slik som N1. Diagram b) er illustrert basert på 2400 mm, slik som N3. Referanse tilsvarer originalklima for Trondheim, uten endret klimaparametre.

De to utvalgte normaliseringsordningene i figur 17a og 17b viser hvordan MI påvirkes som følge av endring av normaliseringsordning. Figur 17a, hvor WI er normalisert med hensyn på 1000 mm, viser at lavere normaliseringsverdier for WI påvirker hvordan WI og DI vektet i forhold til hverandre. Ved lavere normaliseringsverdier for WI enn maksimalverdien i datasettet, vil flere byer oppnå WI-verdier lik eller større enn 1. MI vil da øke i takt med økte WI-verdier, fordi MI-verdien aldri vil være lavere enn den høyeste av henholdsvis WI_N og $(1-DI_N)$. Dette er tidligere vist i figur 12.

Det er ikke mulig å endre normaliseringsverdien for DI til å være lavere enn maksimalverdien i datasettet, da dette fører til at MI-formelen svikter som følge av leddet $(1-DI_N)$. Likevel kan endring av normaliseringsverdi for WI påvirke om $(1-DI_N)$ eller WI_N blir dominerende for den spesifikke byen. I figur 17b er MI mer sensitiv ovenfor endring i RF,

og er dermed i større grad påvirket av endring i tørkeindeksen DI. Dette viser hvor viktig det er å finne egnet normaliseringsverdier dersom MI skal benyttes i fuktprosjektering av bygninger.

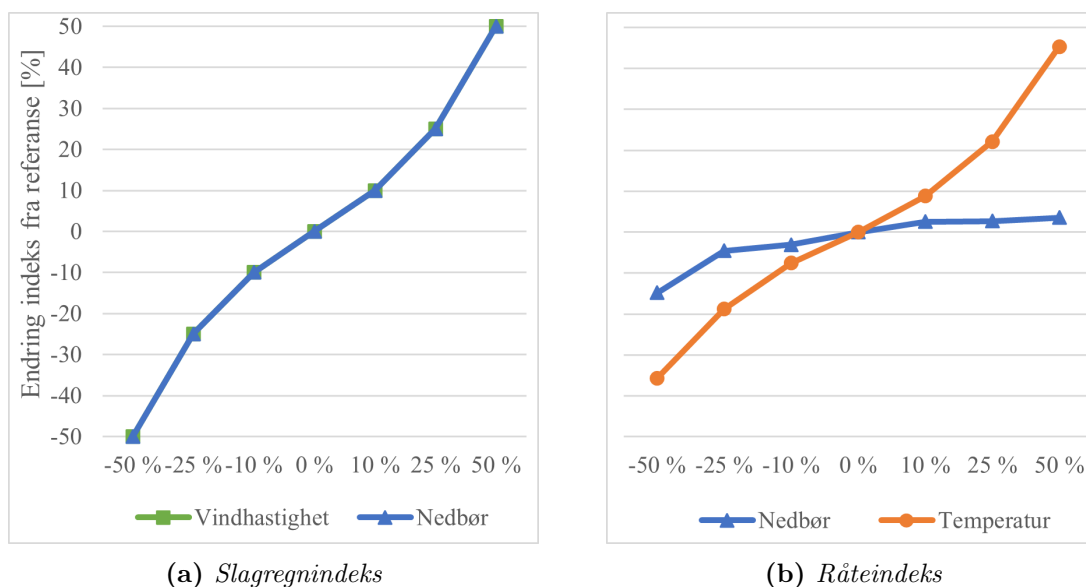
Om den spesifikke byens MI-verdi domineres av tørkeindeksen eller regnindeksen er dog også avhengig av forholdet mellom DI og WI, og ikke bare valg av normaliseringsordning. Dette betyr at sensitivitetsanalysene vil se annerledes ut om en annen by enn Trondheim hadde vært benyttet som utgangspunkt. For eksempel vil MI for Karasjok være mindre sensitiv for nedbørsendring, fordi den dårlige tørkekapasiteten er forholdsmessig langt større enn regnmengden. Likevel forventes det at endring i nedbør får større betydning på resulterende MI når WI normaliseres med hensyn til 1000 mm enn ved 2400 mm, uavhengig av geografisk plassering.

I realiteten henger temperatur og RF sammen. Dersom vanndampinnholdet i luften er en konstant absolutt mengde, vil nedkjøling av luften føre til en økning i RF. Dette skjer fordi nedkjølingen senker metningspunktet til luften og siden RF er et mål på vanndampinnholdet i forhold til metningspunktet, vil RF øke. Dog endres temperatur og RF uavhengig av hverandre i sensitivitetsanalysen, noe som medfører at vanndampinnholdet i luften også endres og ikke er konstant. Dersom sensitivitetsanalysen hadde vært gjennomført basert på kriteriet at vanndampinnholdet i luften var konstant, ville MI økt i større grad som følge av synkende temperaturer (kaldere luft) og samtidig økende RF. Tross dette forventes det samme endringstrend som i figur 17, bare med større negativt stigningstall.

Selvom det vises at RF utslagsgivende i sensitivitetsanalysene, er det viktig å poengtere at en halvvering av årlig gjennomsnittlig RF er en mer drastisk endring enn tilsvarende endring av årlig gjennomsnittstemperatur i virkeligheten. Døgnmiddelen for RF i Norge ligger i henhold til litteraturen på mellom 50 % og 90 %, noe som tilsier at sannsynligheten for at årlig gjennomsnittlig verdi for RF halvveres (- 50 % endring) fra eksempelvis 80 % til 40 %, er tilnærmet lik null. Det ville derfor vært mer hensiktsmessig å endre hver klimaparameter innenfor et sannsynlighetsintervall for hver av parameterne. Det kan derfor være naturlig å tenke at forskjellen i MIs sensitivitet ovenfor temperatur og RF er mindre i virkeligheten enn i disse analysene.

Tross både MI og SI benytter temperatur som klimaparameter i beregningene, vises det tydelig i figur 18b hvordan SI endres som følge av temperatur. Her stiger SI når årsmiddeltemperaturen økes. Dette er helt etter forventning med tanke på at råte har bedre vekstpotensiale ved høye temperaturer. Likevel er det bemerkelsesverdig hvordan MI og SI reagerer motsatt på de samme endringene. Først og fremst er det en tydelig indikasjon på at MI ikke nødvendigvis er egnet til å beskrive råterisikoen som følge av utvendig klimaeksponering, da MI rangerer kalde klima til relativt høye fuktpåkjenninger og råtefaren er ansett å være lav i disse klimaene. Dette samsvarer også med hvordan litteraturen har sett på sammenhengen mellom en muggvekstindeks og MI, hvor sammenhengen mellom variablene synes å være lav.

Det er vanskelig sammenligne hvordan slagregnindeksens sensitivitet for klimaparameterne er i forhold til MI, da det er kun klimaparameteren nedbør som er felles mellom disse fuktindeksene. Likevel har slagregnindeksen potensiale til å definere WI i MI, dersom det er ønskelig å vurdere fasaderetninger i MI. Figur 18a illustrerer hvordan nedbør og vindhastighet påvirker utslaget av I_{Θ} for Trondheim og det vises at den samme endringstrenden skjer uavhengig av klimaparameterne. Dette betyr at økning i vindhastighet har like stor innvirkning på slagregnindeksen som økning i nedbør. Det forventes at endringen i vindhastighet og nedbør er lik for utslaget av MI dersom I_{Θ} hadde angitt WI.



Figur 18: Sensitivitetsanalyse av slagregnindeksens og råteindeksen som følge av endring av de ulike klimaparameterne. Begge diagram følger samme Y-akse. X-aksen angir prosentvis endring i klimaparameterne.

Samlet sett er det tydelig at MI skiller seg i stor grad fra de to andre fuktindeksene. Formelverket tar for seg fler klimaparametre enn de to andre fuktindeksene, i tillegg har den helt forskjellig tilnærming til de som er felles. Det at MI regner om temperatur til vanndamptrykk gjør at SI og MI mister et av fellestrekkene sine. De tilnærmer seg da fuktpåkjenninger i det utvendige klimaet veldig forskjellig. Dette spesielt på grunn av at MI reagerer motsatt på endring i temperatur enn det SI gjør. Ikke minst har det mye å si at SI knyttes opp mot et fysisk degraderingsfenomen, altså råtefare, og at slagregnindeksen viser til en fysisk påkjenning. MI har ingen direkte tilknytning til ytterveggers respons og ei beskriver et noe mer diffust klimafenomen enn det I_{Θ} og SI gjør. Selvom litteraturen viser til at tørkekapasiteten har innvirkning på fuktforholdene i utelufta alene, beskriver litteraturen at sammensetningen av DI og WI usikker. Vektingen 1:1 er ikke vitenskapelig bevist til å være forholdsmessig riktig, og er kun valgt basert på antakelsen om at tørkekapasiteten har like stor innflytelse på yttervegger som regnet.

5.2.3 Klimarangering av byer

Basert på sensitivitetsanalysene viser det seg at MI reagerer veldig annerledes på endring i temperatur enn det råteindeksen gjør. Dette indikerer at MI også kan rangere byer veldig forskjellig sammenlignet med spesielt SI.

Karasjok er den byen som har lavest årlig gjennomsnittlig temperatur og basert på MI ligger Karasjok omtrent midt i rangeringen blant de 12 byene, som vist i tabell 15. Dette skiller seg fra hvordan slagregn- og råteindeksen rangerer Karasjok, vist i figur 14 og 13. Her rangeres Karasjok til både lavest slagregnpåkjønning og råterisiko. At MI rangerer rangerer Karasjok såpass høyt skyldes den lave temperaturen til luften, da kald luft har liten evne til å oppta vanndamp på grunn av lavt metningspunkt.

Det er også bemerkelsesverdig hvordan Oslo rangeres som følge av MI, da Oslo for alle presenterte normaliseringsordninger har lavest rangering. Dette betyr at Oslo, uavhengig av normaliseringsordning, er angitt til å ha lavest fuktpåkjønning. Dette harmonerer heller ikke med hvordan råte- og slagregnindeksen rangerer Oslo. Oslo er en by med relativt høy årsmiddeltemperatur og middels til lav nedbørmengde, som illustrert i figur 11, noe som gjør at det forventes en høyere rangering blant de 12 byene, i allefall basert på råterisiko.

Kristiansands rangering som følge av normaliseringsordning N4 er også verdt å bite merke i. I henhold til slagregnindeksen har Kristiansand stor slagregnbeklastning. Likeså har Kristiansand basert på råterisikoen middels råtefare, men dog ligger verdien tett oppi grensen til høy råtefare. Likevel basert på MI ved N4, rangeres Kristiansand til å ha omtrent like lav fuktpåkjønning som Gardermoen. Normaliseringsordning N4 er i tillegg den ordningen som rangerer Karasjok høyest. Samlet viser dette at N4 fraviker rangeringen til de 12 klimaene basert på slagregn- og råteindeksen aller mest.

Det vises at MI ikke bare fraviker rangeringen til SI og I_{Θ} , men også sammenlignet med fuktindikatorerne til den simulerte ytterveggen. Både SI og I_{Θ} har stort sett bedre korrelasjon med de utvalgte fuktindikatorerne enn det MI har, uavhengig av normaliseringsordning. SI korrelerer sterkest med MuI og I_{Θ} korrelerer sterkest med VI, men også godt med MuI . Dette beviser igjen at MI beskriver det utvendige klimaet veldig forskjellig sammenlignet med de to andre fuktindeksene.

Det burde nevnes at MI korrelerer langt bedre med det simulerte tilfellet der fuktkilden er implementert, samt korrelerer $MI1$ langt bedre enn $MI4$ med både MuI i ytterkant av OSB-platen og VI i OSB-platen. Dette viser igjen hvordan normaliseringsordning N4 ikke bare har store avvik i rangeringen sammenlignet med SI og I_{Θ} , men også utvalgte fuktforhold i en ytterkonstruksjon.

Basert på korrelasjonsdiagrammene i figur 15, vises det at Karasjoks rangering som følge av MI er det største avviket fra rangeringen basert på vanninnholdet i OSB-platen. Det at Karasjok-klimaet ligger såpass langt unna den lineære trenden viser hvordan byer med lav

årlig middeltemperatur blir det sorte fåret i rangeringen basert på MI. Blant de seks byene simulert er det kun Karasjok med såpass lav årsmiddeltemperatur, men det forventes at liknende avvik kan skje med andre byer med lave temperaturer, slik som Røros og Tromsø.

Det er også interessant å se hvordan bruk av slagregnindeksen for WI påvirker MIs rangering av klimaene. Sett bortifra Karasjok, vises det at de resterende fem byene følger den lineære trenden nesten perfekt. At Kristiansund rangeres lavere enn Trondheim basert på MI1, korrigeres som følge av implementering av verste fasadeorientering mot slagregn. Alle simuleringene er tross alt simulert med fasaden rettet mot verste slagregnet, og dette beviser at en retningsbasert WI-indeks kan være en bedre måte å tilnærme MI til fuktforholdene inni veggen.

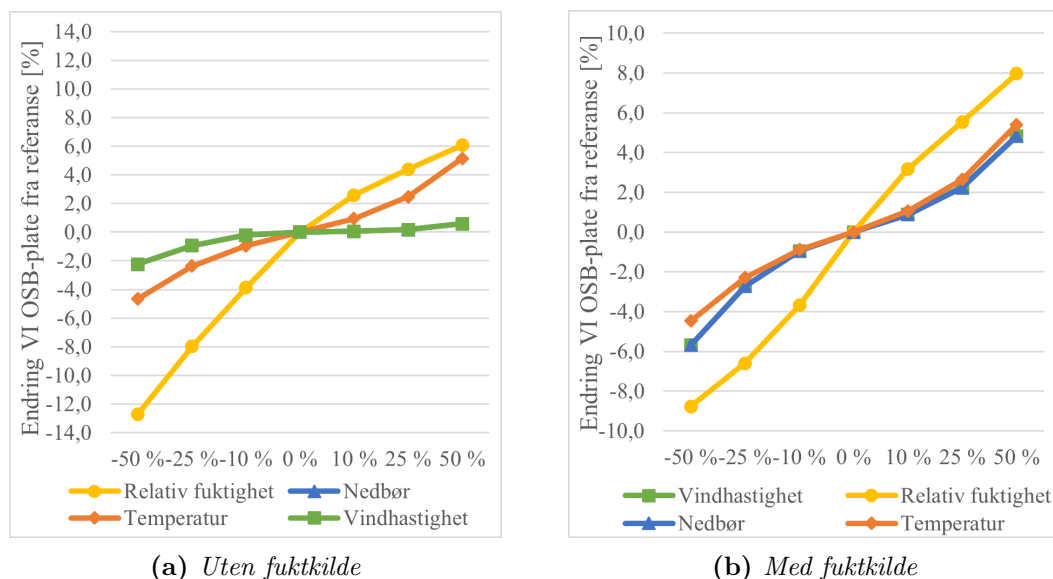
Selvom MI5 som benytter I_{Θ} som WI viser forbedret korrelasjon mot fuktindikatorene i ytterveggen simulert, viser I_{Θ} i seg selv å være et bedre mål sammenlignet med vanninnholdet i OSB-platen. Her rangeres byene helt i takt med hverandre. Det at det simulerte tilfellet med innlagt fuktkilde, som representerer 1 % slagregngjennomtrengning, viser at slagregnet har stor innvirkning på fuktforholdene i denne type yttervegg. En slik fuktkilde skal representere eventuelle sprekker i ytre sjikt eller hull i sperresjiktet foran OSB-platen, noe som kan forventes at enten oppstår i løpet av levetiden eller på grunn av feil i byggeprosessen. Det at MI i tillegg skal vurdere tørkekapasiteten i luften virker bare forstyrrende for rangeringen av de seks klimaene sammenlignet med det simulerte tilfellet.

Fuktindikatorene gir likevel ikke en fullstendig oversikt over fuktforholdene i ytterveggen, ei kan de heller ikke knyttes opp til hvordan fuktforholdene i andre yttervegger er. Selv om det er tydelig at MI ikke nødvendigvis egner seg så godt til å rangere klimaene for dette tilfellet, betyr det ikke nødvendigvis at MI ikke egner seg til å beskrive andre typer konstruksjoner. For eksempel kan det være MI kan beskrive andre degraderingsfenomener eller andre fuktindikatorer som i større grad representerer uttørking og oppfukning fra det utvendige klimaet. Uttørking og oppfukning av ytterste kledningsmateriale kan typisk være et eksempel på dette. Eventuelt kan det tenkes at MI hvor WI er basert på nordlig slagregnpåkjennning, kan beskrive fuktforholdene i nordfasader i større grad. Dette på grunnlag av at uttørking som følge av solstråling er lav i nordlig retning og dette kan føre til at tørkekapasiteten i luften potensielt får større evne til å påvirke fuktforholdene i konstruksjoner.

5.2.4 Sensitivitetsanalyse av klimaparametre i WUFI

For å underbygge hvordan fuktindikatoren VI i OSB-platen responderer på de samme klimaparameter-endringene som for fuktindeksene, vises det også til endringstrender i figur 19. Hovedpoenget med denne analysen er for å se hvordan klimaparameteren temperatur endres, da dette er den største forskjellen mellom SI og MI. Lavere årsmiddeltemperatur gir et lavere vanninnhold i OSB-platen og øker i takt med økende årlig gjennomsnittlig

temperatur. Nedbør og vindhastighet følger også hverandre i takt, akkurat som slagregnindeksen. Slagregnet i WUFI Pro beregnes basert på en annen slagregnformel enn slagregnindeksen, men dette tydeliggjør at de forteller det samme. I tillegg vil implementering av fuktkilde medføre langt større bidrag fra slagregnet, som også beviser hvorfor slagregnindeksen har såpass god korrelasjon med fuktsimulerings-tilfellet hvor fuktkilden er implementert.



Figur 19: Sensitivitetsanalyse av vanninnhold (VI) i OSB-platen som følge av endring i klimaparametre. Analysen er gjennomført for den samme ytterveggen som for analysen med de seks klimaene; både uten og med fuktkilde plassert i ytterste element av det vanntette sjiktet utenfor OSB-platen.

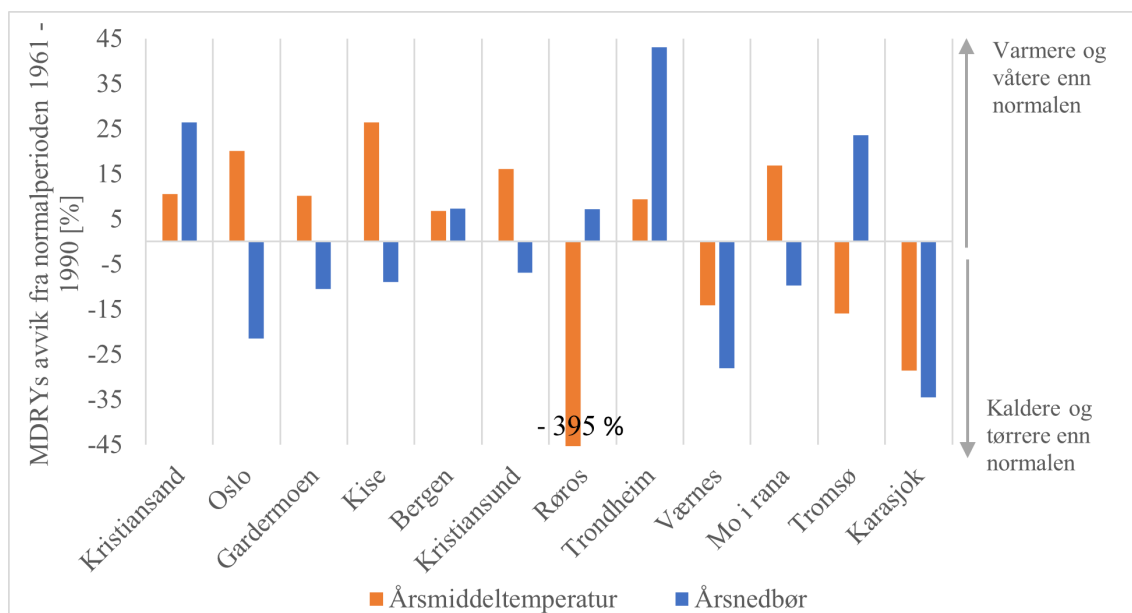
At RF har størst innvirkning på VI er likevel i takt med hvordan MI responderer på RF i figur 17b. I litteraturen vises det til at RF har stor innvirkning på materialers opptak av vann og med slike dratiske endringer i RF er dette tydelig. I tillegg vil endring av klimaparameteren RF medføre et stort antall konvergensfeil i simuleringene. Disse er presentert i Vedlegg F.4. Dette skjer fordi RF for en svært stor andel av timesverdiene er oppimot eller lik 100% og medfører at luften er mettet over veldig lange perioder. Dette betyr at det kan være numeriske usikkerheter i resultatene for endring av spesielt RF. Likevel henvises det tilbake diskusjonen angående endring av RF anses som en langt mer drastisk endring enn tilsvarende endring av de andre klimaparameterne. Endring av klimaparameterne basert på sannsynlighet for endring vil medføre mindre forskjell mellom klimaparameterne i sensitivitetsanalysen her også.

5.2.5 MDRY klimafilenes ekstremitet

MDRY klimafilene er helt essensielle når det kommer til fuktprosjektering og er grunnlaget for simuleringer som gjennomføres i WUFI Pro. Hvilken klimaeksponering som er kritisk for en hver konstruksjon varierer, og det er ikke rett fram å vurdere hvilke år som repre-

senterer et kritisk år for flest mulig konstruksjoner. Klimafilene ble utviklet på 1990-tallet og alle byenes fuktdimensjoneringsår ligger innenfor normalperioden 1961 - 1990. Det er forventet at klimafilene fraviker den korresponderende normalperioden, da årene skal representere en kritisk situasjon. Likevel er det interessant å se hvordan MDRY klimafilene for hver av byene fraviker den normalperioden de er basert på.

Det vises som følge av figur 20 at de færreste av byene er både våtere og varmere enn normalåret sitt, slik som Kristiansand, Bergen og Trondheim er. Dette indikerer at spesielt disse byene representerer en kritisk tilstand spesielt med hensyn til råteproblematikk, fordi biologisk vekst favoriserer varmt og vått klima. Østlandsregionen Oslo, Kise og Gardermoen har generelt et varmere klima, men dog noe mindre nedbør.



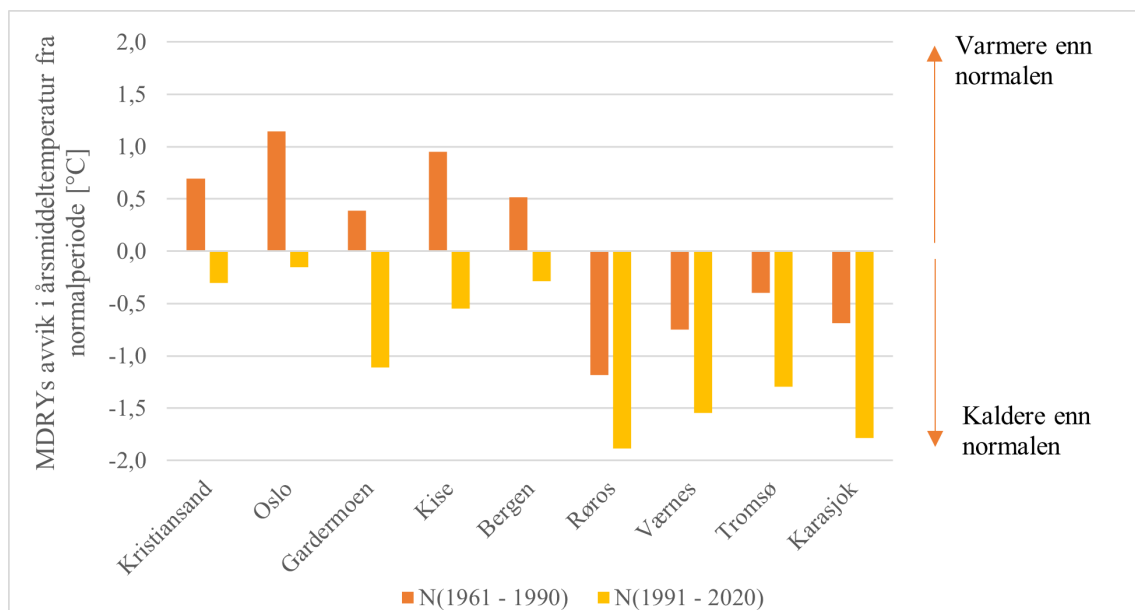
Figur 20: MDRY klimafilenes prosentvise avvik fra normalverdier (periode 1961 - 1990) for årsmiddeltemperatur [$^{\circ}\text{C}$] (oransj) og årlig nedbør [mm] (blå). Prosentvis avvik for årsmiddeltemperaturen for Røros overstiger Y-aksens akseverdier, faktisk tallverdi er beskrevet på aktuell stolpe.

Det skal påpekes at temperatur og nedbør ikke henger direkte sammen og det er usannsynlig å forvente at alle byene ville hatt både varmere og våtere klima enn normalåret sitt. Fuktdimensjoneringsårene velges ut basert på fuktkriterium i utvalgte konstruksjoner som skal ha en returperiode på nærmest mulig 10 år. Det betyr at de ulike konstruksjonenes respons på klimapåkjenningene har innvirkning på utvalget av disse klimafilene. Det at mange av klimaene har en noe lavere nedbørsmengde enn normalåret trenger ikke å bety at det ikke er et representativt fuktdimensjoneringsår. Det er likevel bemerkelsesverdig hvordan Værnes' klima er såpass mye tørrere og kjøligere enn normalåret sitt. Hvorfor dette er tilfellet er usikkert. Værnes sammenlignet med Trondheim, som ligger knappe 30 km unna Værnes, viser seg å være veldig forskjellige. Tabell 18 viser at normalnedbøret i perioden 1961 - 1990 for Trondheim og Værnes skal være tilnærmet like.

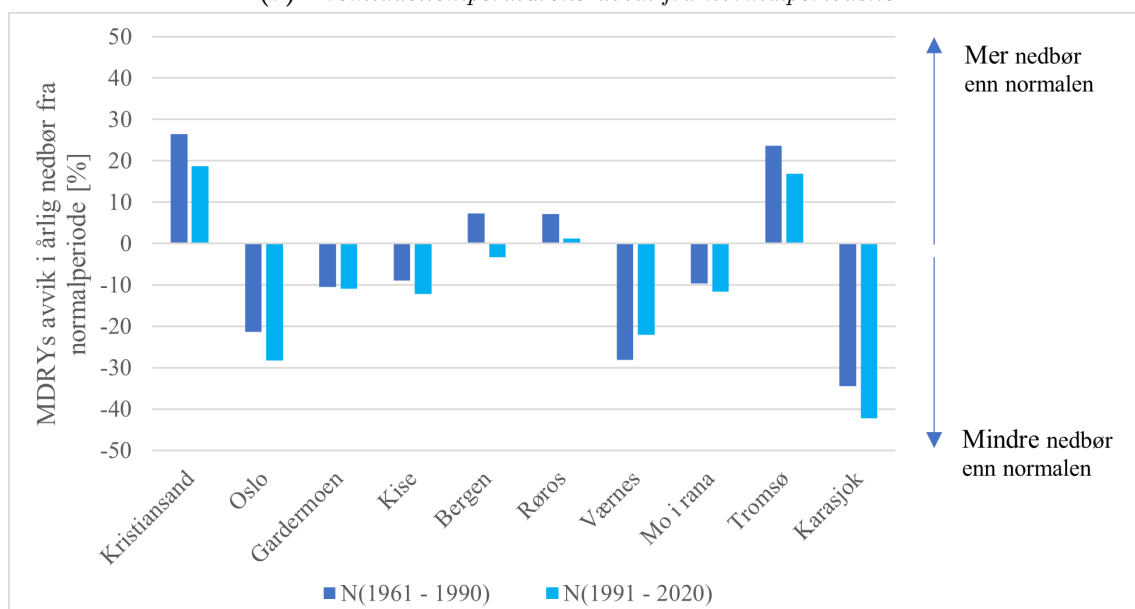
Det har siden 1990-tallet blitt implementert en ny normalperiode som strekker seg fra 1991 - 2020. Utviklingen av temperaturene for de siste fire normalperiodene fra starten av 1900-tallet viser seg å være økende. Den siste normalperioden er den desidert varmeste normalperioden og dette legger også tilrette for økte nedbørsmengder på grunn av luftens økte kapasitet til å holde på fuktighet.

På grunn av klimaets utvikling de siste 30. årene er det ikke bare interessant å vurdere MDRY klimafilenes ekstremitet opp mot den forrige normalperioden, men også den nye. Figur 21a viser hvordan årsmiddeltemperaturen i MDRY klimafilene fraviker hver av normalperiodene. Basert på hvilken normalperiode årsmiddeltemperaturen i MDRY klimafilene er sammenlignet opp mot, vises det at for samtlige byer at avviket er negativt. Dette betyr at MDRY klimafilenes årsmiddeltemperatur er kaldere enn normalperioden 1991 - 2020, på grunn av økte temperaturer de siste 30. årene. Figur 21 illustrerer hvordan det negative avviket også her forsterkes. Dette skyldes også at nedbørsmengdene i den nyeste normalperioden er større.

Selvom fuktdimensjoneringsår avhenger av langt fler parametre enn temperatur og nedbør, tyder endringen i årlig nedbør og årsmiddeltemperatur til byene på at MDRY klimafilene ikke lenger representerer et like kritisk år som de gjorde før. Når det i tillegg forventes enda større endringer i klima de neste 30 årene, indikerer dette at det er et stort behov for å oppdatere MDRY klimafilene for Norge dersom fuktprosjekteringen skal holde følge med klimaendringene som allerede har skjedd og som er i utvikling.



(a) Årsmiddeltemperaturens avvik fra normalperiodene



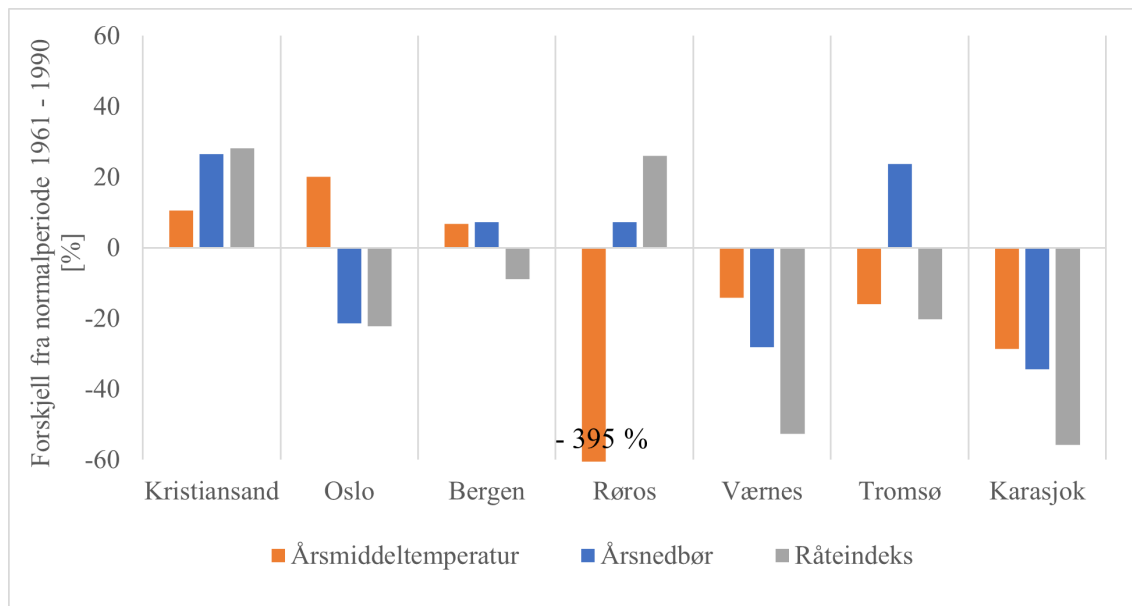
(b) Årlig nedbørs avvik fra normalperiodene

Figur 21: MDRY klimafilenes avvik i årsmiddeltemperatur og årlig nedbør fra normalperioden 1961 - 1990 og normalperioden 1990 - 2020. Kristiansund, Trondheim og Mo i Rana mangler årsmiddeltemperatur, samt Kristiansund og Trondheim mangler årlig nedbør for normalperioden 1991 - 2020 og er derfor neglisjert i sammenligningen.

5.2.6 Kontroll av beregnet råde- og slagregnindekser

Figur 22 sammenligner hvordan årlig middeltemperatur, årlig nedbør i MDRY klimafilene fraviker normalverdier fra perioden 1961 - 1990, samt hvordan beregnet rådeindekser fraviker rådeindekser for den samme normalperioden innhentet fra litteraturen. Rådeindeksen benytter både temperatur og nedbør i beregningene.

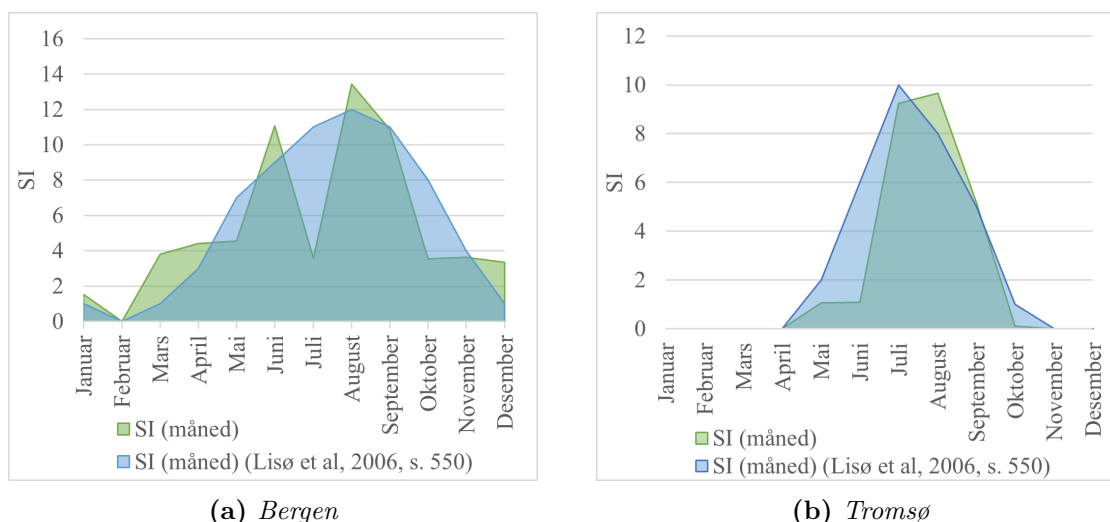
Det vises her at beregnet råteindeks følger noenlunde den samme trenden som nedbør og/eller temperatur. Kristiansand, Værnes og Karasjok følger den samme trenden som begge klimaparameterne. For Oslo er årlig gjennomsnittstemperaturen i MDRY klimafilen noe høyere enn normalåret, likevel reduseres råteindeksen i takt med redusert nedbør. Dette gjelder også for Røros, der årlig gjennomsnittstemperaturen er lavere, mens råteindeksen er noe høyere enn normalverdien. Dette er dog i takt med økt nedbør. Ingen av disse avvikene virker urimelige.



Figur 22: Prosentvis avvik fra normalperioden 1961 - 1990 for årlig middeltemperatur, årlig nedbør og beregnet råteindeks. Det prosentvise avviket for temperatur og nedbør er presentert i tabell 18, samt avviket for råteindeksen er presentert i tabell 20. Beregnet råteindekser er sammenlignet opp mot innhentet verdier fra Lisø et al. (2006).

Råteindeksen for Bergen reduseres noe tross både noe økt nedbør og høyere temperaturer. Avviket er likevel såpass lite at det anses å ikke ha betydning for tilregneligheten til beregningene som er gjennomført. Noe liknende skjer med Tromsø, som fraviker økning i nedbør. For Tromsø kan reduksjonen skyldes at lavere temperaturer gir dårligere vekstforhold for råtesopp. Generelt kan også reduksjonene skyldes forskjell i hvordan nedbør og temperatur er distribuert over de ulike månedene i løpet av året. Figur 23a illustrerer at beregnet råteindeks for juli er drastisk redusert sammenlignet med litteraturens som følge av færre antall dager med mer enn 0,25 mm i nedbør for Bergen. Figur 23b viser at beregnet SI for både mai og juni er lavere enn litteraturens for Tromsø. Dette betyr at selv om MDRY klimafilene for byene har mer totalt nedbør i løpet av året, så er distribusjonen viktig for hvilke råteindeksverdier byene ender med. Dette indikerer også at det er stor forskjell på å definere en regnindeks basert på årlig totalt nedbør eller på distribusjon over eksempelvis; tid.

Slagregnindeksen er kun vurdert opp mot nedbør fordi indeksen ikke benytter temperatur i beregningen. Slagregnindeksen avhenger også av vindhastighet og -retning, men fordi

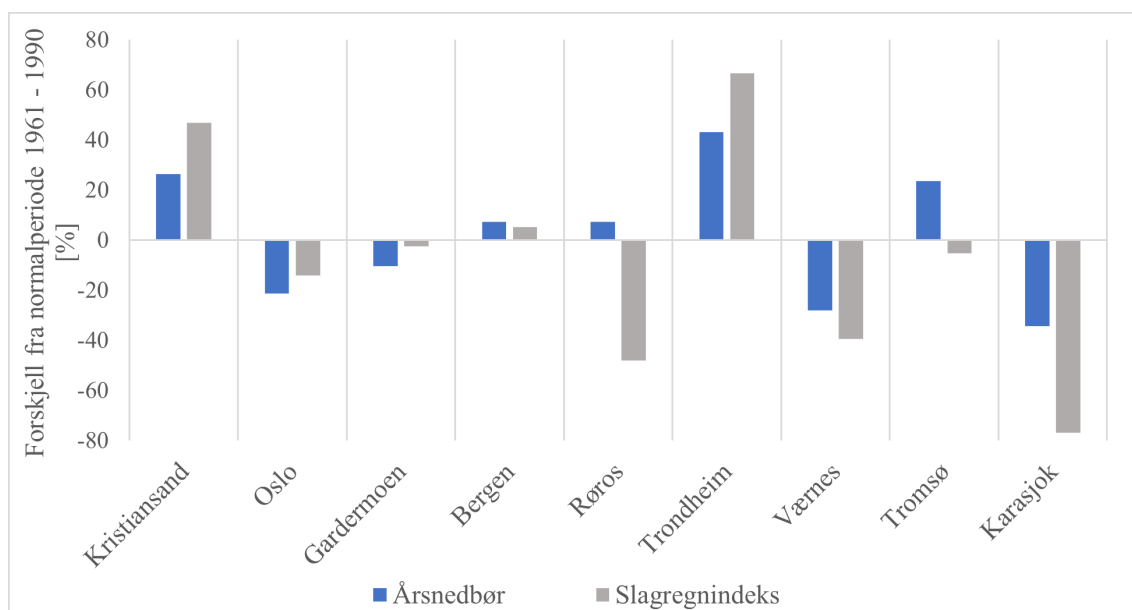


Figur 23: Råteindeksens fordeling per måned i løpet av året for beregnet verdier (grønn) og verdier innhentet fra Lisø et al. (2006, s. 550) (blå).

det ikke er mulig å hente inn liknende årsmiddelverdier for disse parameterne er det kun årlig nedbør indeksen vurderes mot. Det er likevel forventet at en økning eller reduksjon i nedbør vil synes for slagregnindeksen for de aller fleste tilfeller.

Tabell 19 presentert i kapittel 4.4 viser den prosentvise forskjellen mellom beregnet og innhentet verdier, samt tilhørende verste fasaderetning. Her vises det først og fremst at beregnet verste fasaderetning stemmer godt overens med verste fasaderetning til verdier i Byggforsk. Dette indikerer at sortering med hensyn til vindretning er god. Dersom verste fasaderetning avviker noe, er det stort sett ikke mer enn 10 grader som skiller dem. Dette kan skyldes at slagregnindeksen i denne oppgaven er sortert fra 0 - 9°, 10 - 19°, ... , 350 - 360°. Dette fører til at ingen av 10-graderssektorene er perfekt rettet mot nord, øst, sør eller vest. Sortering med start fra 355° - 4° ville muligens vært mer hensiktsmessig, men det vil sannsynligvis ha liten innvirkning for rangeringen av byene.

Figur 24 illustrerer den prosentvise forskjellen mellom beregnet slagregnindeksener og verdier fra litteraturen. De aller fleste byene følger samme trend i økning/reduksjon som årlig nedbør i forhold til normalperioden 1961 - 1990. Slagregnindeksen for Tromsø og Røros viser seg å reduseres noe, tross økt årlig nedbør sammenlignet med normalen. Avviket er dog så lite at det er ansett å ha uten betydning. Avviket kan skyldes lavere vindhastigheter enn normalåret. I tillegg kan fordelingen av de høye vindhastighetene være mer spredt utover de ulike vindretningene, slik at den verste slagregnretningen har en noe lavere middel vindhastighet. Dette er ikke videre analysert og forblir kun en antakelse.



Figur 24: Prosentvis avvik fra normalperioden 1961 - 1990 både for årlig nedbør og beregnet slagregnindekser. Den prosentvise endringen for slagregnindeksen er basert på beregnet indekseres forskjell fra Byggforskserien 451.021 (2018) sine oppgitte verdier. Verdiene kan også finnes presentert i tabell 19.

5.3 Videre bruk av fuktindekser i fuktprosjektering

Hva skal til for at de ulike fuktindeksene skal kunne benyttes i fuktprosjektering av bygninger i Norge?

For at fuktindekser skal kunne benyttes i fuktprosjektering av bygninger er det først og fremst viktig at det evalueres hva målet med den spesifikke fuktindeksen er. En må stille spørsmålet; hva skal fuktindeksen beskrive? Ikke minst er det viktig å evaluere om den gir et realistisk bilde på det den skal beskrive. Fuktindekser er en forenkling av det virkelige klima som bygningene våre eksponeres for, og dette betyr at det viktig å kjenne til begrensningene som medfølger. Forenklinger kan ofte innebære usikkerheter og upresisjon. Fuktindekser anses likevel å være et svært nyttig hjelpemiddel i fuktprosjektering av bygninger, men kun dersom de anvendes i henhold til begrensningene sine.

I dag er fuktprosjekteringen i hovedsak basert på funksjonskrav og dette gjør at det er i stor grad opp til prosjekterende å vurdere hva som er tilfredsstillende grad av beskyttelse for bygningene våre. Regelverket benytter ikke fuktindekser som del av lovverket, ei heller refereres det ikke til bruken av dem direkte. Slagregnindeksen er dog kjent innenfor Byggforskanvisningene, samt nevnes regnintensitetskurvene (IVF). IVF-kurvene er dog i hovedsak anvendt i sammenheng med overvannshåndtering og ikke fuktprosjektering av yttervegger.

Slagregnindeksen som anvendes i Byggforskserien i dag er basert på normalperioden 1961 - 1990. Det er derfor denne perioden de anbefalte byggtekniske løsninger og SINTEF Tek-

nisk Godkjenningene (TG) baseres på. Det har siden den tid blitt implementert en ny normalperiode som er både varmere og våtere enn den før. Det anses derfor som helt essensielt å oppdatere slagregnindeksen i henhold til den nyeste normalperioden. Basert på Köppens klimasoner er Oslo klima gått fra å være betegnet som kaldtemperert til varmtemperert klima. Økt nedbør kan da indikere at Oslo, og potensielt andre byer, kan havne i nye klimasoner ved oppdatering dagens slagregnindekser.

Det å oppdatere dagens allerede anvendte verktøy, slagregnindeksen, innebærer å utvikle nye tabellverk og visuelle kartfremstillinger basert på den nyeste normalperioden. Det er ikke nødvendig å endre hver eneste byggeteknisk anbefaling eller TG knyttet opp mot slagregnindeksen, fordi de forholder seg til de angitte klimasonene og nevner ikke spesifikke byer i sine anbefalinger. Dette betyr at det er kun rammeverket, i form av tabeller og kart, som må endres. De allerede etablerte løsningene følger hengivent etter. Det er likevel viktig å påpeke at videre arbeid knyttet til enda fler gode løsninger basert på fuktindekser, vil uansett være ønskelig for bedre lokaltilpasset og fremtidsrettet klimatilpasset byggeskikk.

Selvom det er viktig å oppdatere slagregnindeksverdiene til den nyeste normalperioden, er det ikke til å stikke under en stol at klima vil fortsette å endres de neste årene. Å kun basere slagregnindeksen på dagens normalperiode kan være en falsk trygghet. I løpet av byggets levetid på 50 til 100 år, vil det suppleres med to til tre nye normalperioder, hvor hver av dem forventes varmere og våtere enn den forrige. Dette betyr at fuktindekser basert på dagens normalperiode er udatert allerede om 30 år, som er en tredel eller halve levetiden til nybyggene i dag. Det vil derfor være desto viktigere å videreutvikle tabellverket og kartene basert på fremtidige klimascenarier for at byggeskikken skal være i forkjøpet av klimaendringene. Fremtidige scenarier eller såkalte klimapåslag burde også være "normalen" for videre bruk av fuktindekser i fuktprosjekteringen i Norge.

Råteindeksen er i dag kjent innenfor den norske litteraturen, men er i liten grad anvendt som verktøy i fuktprosjekteringen. Råteindeksen vurderer en nedbrytningsprosess av treverk, og er derfor vanskeligere å anvende i fuktprosjekteringen sammenlignet med slagregnindeksen som definerer en fysisk påkjenning. Slagregninntrenging kan direkte knyttes til fugebredder, spalteåpninger og utettheter ellers i konstruksjoner. Likevel ville det ikke vært utenkelig å anvende en råteindeks mer i dagens fuktprosjektering. Selvom råtefare avhenger av svært mange parametre, som veggoppbygging, materialvalg og klimaeksponering, så beskriver råteindeksen råtepotensialet i eksponert bærende treverk i et håndfast format. Potensielt kan det være aktuelt å anvende råteindeksen i sammenheng med utvendige trebaserte kledninger. For eksempel kan det være interessant å se på om det finnes en tydelig sammenheng mellom muggvekst eller råtesopp på overflaten av trebaserte fasadekledninger som følge av fargevalg og råteindeksen. Dette basert på at mørke fasadekledninger absorberer mer varme og kan tørke ut raskere og dermed i mindre grad er utsatt for råtefare. Dette vil da også avhenge av solstrålingens bidrag. Å vurdere solstrålingens effekt opp mot fuktindekser som neglisjerer dette bidraget vil også være nyttig for bedre over-

sikt over fuktindeksenes betydning for konstruksjoners respons. Eventuelt kan det hentes inspirasjon fra den canadiske bygningsregelverket, og vurdere om råteindeksen har noe for seg i sammenheng med behov for trykkimpregnering av eksponert bærende treverk.

Fordi *Moisture index* (MI) rangerer klima såpass ulikt de to andre fuktindeksene, anses det ikke aktuelt å erstatte hverken råte eller slagregnindeksen til fordel for MI i fuktprosjekteringen i Norge. Det at I_{Θ} korrelerer på alle måter bedre med fuktindikatorerne enn MI, viser at slagregnet har langt større innflytelse på opptaket av vann i det spesifikke sjiktet. Dog forutsatt at det er en viss mengde av sprekker og utettheter i veggen. Tørkeindeksen virker da bare forstyrrende for klimarangeringen i denne sammenheng. Vektingen til MI er basert på 1:1 forhold og er i henhold til litteraturen ikke vitenskapelig bevist. Lavere vekting av DI vil uansett ikke medføre bedre korrelasjon enn I_{Θ} med fuktindikatorerne i denne oppgaven, da like så gjerne tørkeindeksens bidrag kan fjernes. MI er da til syvende og sist det samme som slagregnindeksen, og den er allerede benyttet i dagens fuktprosjektering.

Det er viktig å poengtere at dette ikke nødvendigvis betyr at MI ikke har noe for seg for fuktprosjekteringen i Norge i det hele tatt. Det kan være andre sammenhenger som er mulig å undersøke. Råte er dog en av de viktigste nedgraderingsprosessene en bygningsfysiker skal forholde seg til og det synes ikke at MI egner seg til å beskrive dette bedre enn råteindeksen heller. Likevel kan en annen vei videre for MI være å se på sammenhengen mellom korrosjon i bygningsmaterialer og MI. Ellers kan det hende det går an å spisse MI direkte mot eksponert treverk, for eksempel nordvendte fasader som i mindre grad er påvirket av solstrålingens bidrag. Det er likevel ikke rett frem å implementere MI som en del av den norske fuktprosjekteringen, det må i så fall gjøres enda fler analyser knyttet til hvilke konkrete bidrag MI kan gi den norske fuktprosjekteringen i form av både lokal og fremtidig klimatilpasning.

Fordi fuktindekser er en forenkling av den reelle sannheten bak klimaeksponeringen på bygningene våre, anses det å gi større nytteverdi å anvende fuktindekser til spesifikke formål. Slagregnindeksen angir en svært konkret klimapåkjenning og det er tydelig hvilket bidrag en slik fuktindeks gir fuktprosjekteringen. Fuktindekser burde ha to formål; å fungere som et preventivt tiltak mot fremtidige klimaendringer og tydeliggjøre nødvendige tiltak basert på geografisk plassering. I tillegg skal fuktindeksene gjøre jobben til bygningsfysikere enklere. Det er derfor helt essensielt å påse at fuktindeksene som skal anvendes i fuktprosjekteringen bidrar konstruktivt i prosjekteringen. Dette betyr at det ikke kan være for mange usikkerheter og det må være tydelig hvilken effekt de gir; noe råteindeksen og slagregnindeksen anses å gjøre i større grad enn MI.

Det anbefales ikke å implementere fuktindekser som direkte del av teknisk forskrift, da for spesifiserte lovverk kan gå på bekostning av den prosjekterendes kreativitet og mulighet til å utarbeide nye og bedre løsninger. Det å videreutvikle de allerede anvendte fuktindeksene og implementere nye fuktindekser som del av Byggforsks anvisninger er likevel ansett som

høyst fordelaktig, da Byggforskanvisninger er en stor del av bygningsfysikers verktøykasse. Dette innebærer da å oppdatere gamle tallverdier, men aller helst utvikle fuktindeksene slik at de kan benyttes som et preventivt tiltak mot fremtidig klima. Ellers kan det å samle dagens tabellverk i en mer søkevennlig database, der geografisk plassering kan søkes opp med tilhørende slagregnindeks og eventuelt andre fuktindekser som potensielt anvendes i fuktprosjekteringen i fremtiden oppgis. Dette kan også være en fin måte å i større grad implementere fremtidige påslag i fuktindeksene.

6 Konklusjon

Fuktindekser er et viktig bidrag til både dagens og den fremtidige fuktprosjekteringen i Norge. Fuktindekser er en forenkling av de virkelige klimapåkjenningene, og må derfor benyttes med forsiktighet i henhold til dens begrensninger. Det å videreutvikle bruken av fuktindekser anses som viktig om fuktprosjekteringen skal holde følge med fremtidige klimaendringer og ivareta lokal tilpasning. Å videreutvikle fuktindekser som verktøy innebærer også å vurdere om det finnes fuktindekser internasjonalt som kan føre fuktprosjekteringen i Norge til et neste steg.

I dag er det spesielt slagregnindeksen som benyttes i fuktprosjekteringen av bygninger i Norge. Den anvendes til å blant annet definere krav knyttet til luften- og spalteåpning, fugebredder, beslagsløsninger og tykkelse på pussjikt. Fuktindekser generelt kan benyttes til å dele landet inn i ulike klimasoner og etablere tabellverk og visuelle kartløsninger basert på klimasonene. Dette fungerer som et rammeverk for byggtekniske løsninger som defineres basert på fuktindekser. Fuktindekser er også en god måte å fremstille fremtidige scenarier for klimaendringer og kan dermed fungere som et preventivt fuktsikringstiltak for fremtiden. I tillegg finnes det muligheter å benytte fuktindekser som del av utvalgsprosessen av fuktdimensjoneringsår (MDRY) for anvendelse i fuktsimuleringsprogram.

Forskjellen mellom MI, SI og I_{Θ} er hvordan de er satt sammen av klimaparametre. SI er satt sammen av månedlige temperaturer og nedbørsmengder, hvor sammenhengen mellom de to parametrene er knyttet opp mot potensialet for råte i treverk. I_{Θ} er satt sammen av vindretning, -hastigheter og regn, og beskriver hvor stor andel regn som treffer en vertikal fasade. MI setter sammen luftens tørkekapasitet basert på omregning fra temperaturer og relativ fuktighet til vanddampinnhold, og enten årlig totalt regn eller slagregnmengder.

MI har til felles med SI å anvende temperatur, men på grunn av omregning til vanddamp reagerer de to fuktindeksene forskjellig på temperaturendring. MI rangerer byene i Norge veldig annerledes enn SI, I_{Θ} og utvalgte fuktindikatorer. Byer med lav årsmiddeltemperatur som Karasjok, rangeres til høye fuktspåkjenninger som følge av lav tørkekapasitet i luften basert på MI. Karasjok har lavest råtepotensiale og slagregnpåkjenning basert på SI og I_{Θ} . Både råte- og slagregnindeksen korrelerer bedre enn MI med økende vanninnhold (VI) i OSB-platen og muggvekstindeksen (MuI) i ytterkant av OSB-platen i simulert yttervegg. Fuktindeksene tilnærmer seg derfor fuktproblematikk veldig ulikt SI og I_{Θ} , og MI viser seg derfor å ikke representere et så godt bilde av fuktproblematikk som følge av råtepotensiale eller slagregnpåkjenning.

For videre bruk av fuktindekser i fuktprosjekteringen anbefales det å fokusere på utvikling av allerede anvendte fuktindekser i den norske fuktprosjekteringen, da det ikke er aktuelt å erstatte MI med hverken SI eller I_{Θ} . Om MI skal videre analyseres for anvendelse, kan det være aktuelt å se videre på om MI basert på slagregnbelastning kan knyttes opp mot uttørking av eksempelvis utvendig eksponert kledningsmateriale.

Det anses ikke som hensiktsmessig å implementere bruk av fuktindeksene direkte som del av teknisk forskrift. Det vil heller være nyttig å fortsette å benytte fuktindeksene som del av Byggforsk sine anvisninger, for å unngå et for restriktivt regelverk som går på bekostning av fuktprosjekterendes kreativitet og nytenkning. Fuktindekser er en forenkling av klimaeksponeringen på bygningene, hvor medfølgende usikkerheter må tas med i betraktning. Et bygningsregelverk som anvender fuktindekser direkte kan medføre at en hver regel må suppleres med enda flere unntak på grunn av fuktindeksenes begrensninger. Dette vil sette bånd på innovasjonen i selve bransjen.

Da dagens slagregnindeks er basert på forrige normalperiode 1961 - 1990, er det helt essensielt å oppdatere disse i henhold til dagens normalperiode på grunn av store endringer i klima de siste tredve årene. Dette innebærer å utvikle nye tabellverk og visuelle kartframstillinger. Det anbefales også å se videre på anvendelse av råteindeksen i større grad i den daglige fuktprosjekteringen. Dette kan eksempelvis innebære å knytte råteindeksen opp mot behov for trykkimpregnering av treverk eller fargevalg av trebaserte utvendige kledninger på grunn av risiko for sjenerende overflate-soppvekst på lyse kledningsmaterialer. I tillegg burde det utvikles klimapåslag for I_{Θ} for å ta hensyn til fremtidige klimaendringer, og at dette på sikt kan innføres som den nye normalen i fuktprosjekteringen.

Referanser

- Aggarwal, C., Wang, L., Defo, M., Ge, H., Junginger, M. & Lacasse, M. A. (2021). Sensitivity analysis of hygrothermal performance of wood framed wall assembly under different climatic conditions: the impact of cladding properties. *Journal of Physics: Conference Series*, 2069(1), 012010.
- Almås, A. J., Lisø, K. R., Hygen, H. O., Øyen, C. F. & Thue, J. V. (2011). An approach to impact assessments of buildings in a changing climate. *Building Research & Information*, 39(3), 227–238. <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.562025>
- Aspehaug, S. K., Time, B., Thue, J. V., Geving, S., Gustavsen, A., Mathisen, H. M. & Ulvsløkk, S. (2015). *Kunnskapsstatus - Fuktbufring i materialer og påvirkning på energibehov* [ZEB Project report 22]. SINTEF Academic Press.
- Astrup, I. (2021). *Fuktindeks. Bruk i fuktprosjektering av bygninger* (Notat Nr. 141). Klima 2050.
- Bailey, H. P. (1958). A Simple Moisture Index Based upon a Primary Law of Evaporation. *Geografiska Annaler*, 40(3-4), 196–215. <https://doi.org/10.2307/520308>
- Beaulieu, P., Bomberg, M., Cornick, S., Dalgliesh, A., Desmarais, G., Djebbar, R., Kumaran, K., Lacasse, M., Lackey, J. & Maref, W. (2002). *Final report from Task 8 of MEWS Project (T8-03)-Hygrothermal response of exterior wall systems to climate loading: methodology and interpretation of results for stucco, EIFS, masonry and siding clad wood-frame walls* (tekn. rapp. Nr. 118). National Research Council of Canada. <https://doi.org/10.4224/20386165>
- Benestad, R. (2021). *returverdier*. Store norske leksikon. Hentet 9. mai 2022, fra <http://snl.no/returverdier>
- Benestad, R. & Lahn, B. (2021). *klimatilpasning*. Store norske leksikon. Hentet 5. juni 2022, fra <http://snl.no/klimatilpasning>
- Brischke, C. & Selter, V. (2020). Mapping the decay hazard of wooden structures in topographically divergent regions. *Forests*, 11(5), 510. <https://doi.org/10.3390/f11050510>
- Bunkholt, N. S., Time, B. & Kvande, T. (2021). *Luftede kledninger - Anbefalinger for klimatilpasning* (tekn. rapp. Nr. 23). Klima 2050.
- Byggforskserien. (u.å.). *Hva er Byggforskserien*. https://byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien
- Byggforskserien 421.132. (2018). *Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 451.021. (2018). *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 451.031. (2013). *Klimadata for dimensjonering mot regnpåkjennning*.
- Byggforskserien 520.415. (2004). *Beslag mot nedbør*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 521.112. (2019). *Gulv pågrunnen med ringmur. Telesikring og varmeisolerings av oppvarmede bygninger*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 542.003. (2013). *Totrinnetetning mot slagregn på fasader. Luftede kledninger og fuger*. SINTEF Community.

- Byggforskserien 542.201. (2019). *Fasadeledning av metall*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 542.303. (2010). *Fasadesystemer med puss på isolasjon*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 542.811. (2005). *Fasadepuss. Valg av pusstype*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 701.401. (2005). *Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for inneklimate*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 720.082. (2007). *Råte- og fargesopp. Skadetyper og utbedring*. SINTEF Community.
- Byggforskserien 742.240. (2006). *Tilsmussing av fasader*. SINTEF Community.
- Cornick, S., Dalglish, W. A., Said, M. N., Djebbar, R., Tariku, F. & Kumaran, M. K. (2002). *Report from Task 4 of MEWS Project - Task 4-Environmental Conditions Final Report* (tekn. rapp. Nr. 113). National Research Council of Canada. <https://doi.org/10.4224/20378857>
- Cornick, S. & Dalglish, W. A. (2003a). A moisture index approach to characterizing climates for moisture management of building envelopes. *Proc. 9th Can. Conf. Building Science and Technology, Vancouver*, 383–398.
- Cornick, S. & Dalglish, W. A. (2003b). A Moisture Index to Characterize Climates for Building Envelope Design. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27(2), 151–178. <https://doi.org/10.1177/1097196303036210>
- Cornick, S., Djebbar, R. & Dalglish, W. A. (2003). Selecting moisture reference years using a moisture index approach. *Building and Environment*, 38(12), 1367–1379. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00139-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00139-2)
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2021). *Klima i Norge*. Store norske leksikon. Hentet 3. mars 2022, fra http://snl.no/klima_i_Norge
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2022). *Klima*. Store norske leksikon. Hentet 5. juni 2022, fra <http://snl.no/klima>
- Dibk. (u.å.). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Hentet 5. juni 2022, fra <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- FN. (2022). *Klimaendringer*. FN-sambandet. Hentet 5. juni 2022, fra <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>
- Fraunhofer IBP. (2019). *WUFI Pro 6 Manual*. Hentet 30. mai 2022, fra https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/11/WUFIPro_6_manual.pdf
- Fraunhofer IBP. (2022). *Benchmark test of EN 15026*. Hentet 16. mai 2022, fra <https://wufi.de/en/2015/04/09/benchmark-test-of-en-15026/>
- Fraunhofer IBP. (u.å.-a). *Downloads - Material and weather files*. Hentet 16. mai 2022, fra <https://wufi.de/en/service/downloads/>
- Fraunhofer IBP. (u.å.-b). *WUFI® Mould Index VTT*. Hentet 11. mai 2022, fra <https://wufi.de/en/2017/03/31/wufi-mould-index-vtt/>
- Fraunhofer IBP. (u.å.-a). *WUFI Mould Index VVT Help* [Programvarens egen hjelp-fil].
- Fraunhofer IBP. (u.å.-b). *WUFI Pro 6.5 Online Help* [Programvarens egen hjelp-fil].

- Gaur, A., Lu, H., Lacasse, M., Ge, H. & Hill, F. (2021). Future projected changes in moisture index over Canada. *Building and Environment*, 199(107923). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107923>
- Geving, S. & Thue, J. V. (2002). *Fukt i bygninger* (Bd. Håndbok 50). Norges byggforskningsinstitutt.
- Geving, S. & Torgersen, S. E. (1997). *Klimadata for fuktberegninger: referanseår for 12 steder i Norge og klimadata for konstruksjoner mot grunnen* (Nr. 227). Norges byggforskningsinstitutt.
- Gjære, L. (2019). *Nytt rammeverk gjør det lettere å bygge for framtidens klima*. Hentet 25. mai 2022, fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/2019/nytt-rammeverk-gjor-det-lettere-a-bygge-for-framtidas-klima/>
- Harstveit, K. (2020). *kontinentalt klima*. Store norske leksikon. Hentet 5. juni 2022, fra http://snl.no/kontinentalt_klima
- Harstveit, K. (2021). *Regn*. Store norske leksikon. Hentet 5. juni 2022, fra <http://snl.no/regn>
- Hygen, H. O. (2008). *Klimaforhold og klimaendringer i Norden. Delrapport 1 fra prosjektet: Effekter av klimaendringer på kulturminner og kulturmiljø* (Nr. 15). Meteorologisk institutt.
- Javed, H., Brambilla, A. & Strang, M. (2022). An Australian climate-based characterization of hygrothermal risks for buildings. *Energy and Buildings*, 265, 112086. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112086>
- Jeong, D. I. & Cannon, A. J. (2020). Projected changes to moisture loads for design and management of building exteriors over Canada. *Building and Environment*, 170, 106609. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106609>
- Klima 2050. (u.å.). *Reduksjon av samfunnsrisiko knyttet til klimaendringer på det bygde miljø* [Faktaark]. https://www.sintef.no/contentassets/7ebe07d9d88f4194a8ed05a0f31eb51c/klima2050_faktaark.2015.pdf
- Kvande, T., Bakken, N., Bergheim, E. & Thue, J. V. (2018). Durability of ETICS with rendering in Norway—Experimental and field investigations. *Buildings*, 8(7), 93.
- Kvande, T. & Lisø, K. R. (2009). Climate adapted design of masonry structures. *Building and Environment*, 44(12), 2442–2450.
- Lisø, K. R. (2006). *Building envelope performance assessments in harsh climates: Methods for geographically dependent design* (Doktoravhandling). Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. <http://hdl.handle.net/11250/231348>
- Lisø, K. R. & Kvande, T. (2007). *Klimatilpasning av bygninger*. SINTEF Byggforsk.
- Lisø, K. R., Kvande, T., Hygen, H. O., Thue, J. V. & Harstveit, K. (2007). A frost decay exposure index for porous, mineral building materials. *Building and Environment*, 42(10), 3547–3555. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.022>
- Lisø, K. R., Kvande, T. & Time, B. (2017). Climate adaptation framework for moisture-resilient buildings in Norway. *Energy Procedia*, 132, 628–633. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.698>

- Lisø, K. R., Olav Hygen, H., Kvande, T. & Vincent Thue, J. (2006). Decay potential in wood structures using climate data. *Building research & information*, 34(6), 546–551. <https://doi.org/10.1080/09613210600736248>
- Mamen, J. (2022). *Köppens klimaklassifisering*. Store norske leksikon. Hentet 2. mars 2022, fra https://snl.no/K%C3%B6ppens_klimaklassifisering
- Mamen, J., Isaksen, K., Hygen, H. O. & Ims, R. A. (2021). Klimaendringene forandrer Norges klimasoner. Flere dyr risikerer å dø ut. *Aftenposten*. Hentet 3. mars 2022, fra <https://www.aftenposten.no/viten/i/zg88L9/klimaendringene-forandrer-norges-klimasoner-flere-dyr-risikerer-aa-doe>
- Meteorologisk institutt. (2019). *Normalperiode*. Store norske leksikon. Hentet 5. juni 2022, fra <http://snl.no/normalperiode>
- Meteorologisk institutt. (2020). *Kva er egentleg skilnaden på vår og klima?* Hentet 7. mars 2022, fra <https://www.met.no/vaer-og-klima/klimasvar/hva-er-egentlig-forskjellen-pa-vaer-og-klima>
- Meteorologisk institutt. (2021). *Ny normal i klimaforskningen*. Hentet 3. mars 2022, fra <https://www.met.no/vaer-og-klima/ny-normal-i-klimaforskningen>
- Meteorologisk institutt. (u.å.). *Seklima - Observasjoner og værstatistikk*. Hentet 30. april 2022, fra <https://seklima.met.no/>
- Microsoft. (u.å.). *KORRELASJON (funksjon)*. Hentet 20. mai 2022, fra <https://support.microsoft.com/nb-no/office/korrelasjon-funksjon-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92>
- Miljødirektoratet. (2019). *Klimatilpasning av bygg og anlegg*. Hentet 7. mars 2022, fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/klimatilpasning-i-sektorer/bygg-og-anlegg/>
- National Research Council of Canada. (2015). *National Building Code of Canada* (Fourteenth Edition 2015, Bd. 1) [Second printing]. <https://doi.org/10.4224/40002005>
- Norsk Klimaservicesenter. (u.å.-a). *Kraftig nedbør*. Hentet 16. mai 2022, fra <https://klimaservicesenter.no/kss/laer-mer/%20kraftig-nedbør>
- Norsk Klimaservicesenter. (u.å.-b). *Nedbørsintensitet (IVF-verdier)*. Hentet 16. mai 2022, fra <https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN18701>
- RIF. (2015). *Anbefalte ytelser for rådgiver bygningsfysikk*. Rådgivende Ingeniøreres Forning.
- Rydock, J. P., Lisø, K. R., Førland, E. J., Nore, K. & Thue, J. V. (2005). A driving rain exposure index for Norway. *Building and Environment*, 40(11), 1450–1458. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.018>
- Scheffer, T. C. (1971). A Climate Index for Estimating Potential for Decay in Wood Structures Above Ground. *Forest products journal*, 21(10), 25–31.
- Seter, K. (2021). *Vær*. Store norske leksikon. Hentet 5. juni 2022, fra <http://snl.no/v%C3%A6r>
- SINTEF Certification. (2021a). *TG 20757 Glasroc X Vindsperresystem*. SINTEF. Hentet 22. mai 2022, fra <https://www.sintefcertification.no/Product/Index/10503>

- SINTEF Certification. (2021b). *TG 2428 Weber fasadesystemer - Serpomin og Serpothem*. SINTEF. Hentet 22. mai 2022, fra <https://www.sintefcertification.no/Product/Index/1521>
- SINTEF Certification. (u.å.). *SINTEF Teknisk Godkjenning (TG)*. Hentet 22. mai 2022, fra <https://www.sintefcertification.no/portalpage/index/56#Hva>
- Sivle, A. D. (2017). *Orografisk nedbør*. Store norske leksikon. Hentet 3. mars 2022, fra http://snl.no/orografisk_nedb%C3%B8r
- SNL. (2018). *graddagtallet*. Store norske leksikon. Hentet 8. juni 2022, fra <https://snl.no/graddagtallet>
- SNL. (u.å.). *Om Store norske leksikon*. Store norske leksikon. Hentet 4. juni 2022, fra https://meta.snl.no/Om_Store_norske_leksikon
- Thorntwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94. <https://doi.org/10.2307/210739>
- Thue, J. V. (2016). *Bygningsfysikk Grunnlag*. Fagbokforlaget.
- Thue, J. V., Oustad, M. & Gustavsen, A. (2008). *WUFI 1D Pro 4.1 Brukermanual*. <http://www.wufi.no/WUFI1D-4.1-Bruker-v3.1.pdf>
- Wang, L., Defo, M., Xiao, Z., Ge, H. & Lacasse, M. A. (2021). Stochastic Simulation of Mould Growth Performance of Wood-Frame Building Envelopes under Climate Change: Risk Assessment and Error Estimation. *Buildings*, 11(8), 333.
- WUFI-Wiki. (2008). *The *.WBC Format for Climate Data*. Hentet 17. mars 2022, fra <https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/Details:WBC-File>
- Øyen, C. F., Almås, A. J., Hygen, H. O. & Sartori, I. (2010). *Klima- og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge: Utredning som grunnlag for NOU om klimatilpassing* (Oppdragsrapport 3B0325). SINTEF Byggforsk.

Vedlegg

A Beregning av moisture index (MI)	87
B Beregning råteindekser (SI)	95
C Beregning slagregnindekser (I_{θ})	101
D MDRY klimafilenes avvik fra normalverdier	114
E Informasjon og input i WUFI Pro	115
F Sensitivitetsanalyser for Trondheim	120
G Resultater fuktsimuleringer	126

A Beregning og grafer av moisture index (MI)

A.1 Beregning av WI og DI

Utklipp av 12 av 8760 rader er illustrert fra beregningene. WI summeres basert på kolonne med 8760 verdier i tilhørende farge, gul og grønn for henholdsvis nedbør og regn. Alle blå kolonner er med på å beregne fuktighetsforholdet Δw , hvor deretter kolonnen med 8760 verdier summeres (oransj) til DI (oransj).

A.1.1 Kristiansand

Kristiansand										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann/kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
1.400000	0,010000	0,010000	675,892778	635,339211	0,004186	0,003934	0,000253	14,51	1643	1507
1.400000	0,010000	0,010000	675,892778	635,339211	0,004186	0,003934	0,000253			
1.400000	0,010000	0,010000	675,892778	635,339211	0,004186	0,003934	0,000253			
1.400000	0,010000	0,010000	675,892778	635,339211	0,004186	0,003934	0,000253			
1.400000	0,010000	0,010000	675,892778	635,339211	0,004186	0,003934	0,000253			
1.400000	0,010000	0,010000	675,892778	635,339211	0,004186	0,003934	0,000253			
1.400000	0,010000	0,010000	675,892778	635,339211	0,004186	0,003934	0,000253			
1.600000	0,000000	0,000000	685,646822	617,082140	0,004247	0,003820	0,000427			
1.900000	0,000000	0,000000	700,512589	609,445952	0,004340	0,003772	0,000568			
2.200000	0,000000	0,000000	715,664132	594,001229	0,004434	0,003676	0,000758			
2.400000	0,000000	0,000000	725,926249	580,740999	0,004498	0,003594	0,000905			
2.700000	0,000000	0,000000	741,564586	563,589085	0,004596	0,003487	0,001109			

A.1.2 Oslo

Oslo										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann/kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-5,4	0,45	0	386,9682503	352,1411078	0,002389902	0,002174059	0,000215843	19,57	599	531
-5,4	0,45	0	386,9682503	352,1411078	0,002389902	0,002174059	0,000215843			
-5,4	0,45	0	386,9682503	352,1411078	0,002389902	0,002174059	0,000215843			
-5,4	0,45	0	386,9682503	352,1411078	0,002389902	0,002174059	0,000215843			
-5,4	0,45	0	386,9682503	352,1411078	0,002389902	0,002174059	0,000215843			
-5,4	0,45	0	386,9682503	352,1411078	0,002389902	0,002174059	0,000215843			
-5,4	0,45	0	386,9682503	352,1411078	0,002389902	0,002174059	0,000215843			
-5,1	0,08	0	397,1163917	357,4047525	0,002452823	0,002206671	0,000246153			
-4,9	0,08	0	404,0148641	363,6133777	0,002495603	0,002245142	0,000250461			
-4,7	0,08	0	411,0215711	369,919414	0,002539061	0,002284222	0,000254838			
-4,5	0,08	0	418,1380791	376,3242712	0,002583205	0,002323919	0,000259286			
-4,3	0,08	0	425,3659771	382,8293793	0,002628047	0,002364243	0,000263804			

A.1.3 Gardermoen

Gardermoen										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann /kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-13	0	0	196,1804047	156,944324	0,00120931	0,00096707	0,00024224	11,59	772	586
-13,2	0	0	192,5761493	154,060919	0,00118705	0,00094928	0,00023777			
-13,5	0	0	187,2805393	149,824431	0,00115435	0,00092314	0,00023121			
-13,8	0	0	182,115262	145,69221	0,00112245	0,00089764	0,00022481			
-14	0	0	178,7427332	142,994187	0,00110163	0,00088099	0,00022064			
-14,3	0	0	173,7883374	139,03067	0,00107104	0,00085654	0,0002145			
-14,6	0	0	168,9567607	135,165409	0,00104122	0,00083269	0,00020852			
-13,5	0	0	187,2805393	149,824431	0,00115435	0,00092314	0,00023121			
-12,5	0	0	205,4559642	164,364771	0,00126661	0,00101287	0,00025373			
-11,5	0	0	225,1910879	180,15287	0,00138854	0,00111034	0,0002782			
-10,5	0	0	246,6047645	197,283812	0,0015209	0,00121613	0,00030478			
-9,5	0	0	269,8242745	215,85942	0,00166449	0,00133088	0,00033361			

A.1.4 Kise på Hedmark

Kise på Hedmark										
Temperatur (Grader) (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg/kg)	Fuktighet w_amb (kg/kg)	Fuktighetsforhold Deltaw	DI (kg/kg)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-12,3	0	0	209,2745262	177,883347	0,001290195	0,001096325	0,00019387	10,50	533	463
-12,3	0	0	209,2745262	177,883347	0,001290195	0,001096325	0,00019387			
-12,3	0	0	209,2745262	177,883347	0,001290195	0,001096325	0,00019387			
-12,3	0	0	209,2745262	177,883347	0,001290195	0,001096325	0,00019387			
-12,3	0	0	209,2745262	177,883347	0,001290195	0,001096325	0,00019387			
-12,3	0	0	209,2745262	177,883347	0,001290195	0,001096325	0,00019387			
-12,3	0	0	209,2745262	177,883347	0,001290195	0,001096325	0,00019387			
-11,7	0	0	221,1136998	185,735508	0,001363345	0,001144808	0,000218537			
-11,2	0	0	231,4333199	192,089656	0,00142712	0,001184048	0,000243072			
-10,6	0	0	244,3843033	200,395129	0,001507175	0,001235344	0,00027183			
-10,1	0	0	255,6684436	207,091439	0,001576943	0,001276709	0,000300234			
-9,5	0	0	269,8242745	215,85942	0,001664489	0,001330879	0,00033361			

A.1.5 Bergen

Bergen										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann /kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
2,4	0,13	0,13	725,9262489	667,852149	0,004498434	0,004136166	0,000362268	13,77	2413	2398
2,4	0,13	0,13	725,9262489	667,852149	0,004498434	0,004136166	0,000362268			
2,4	0,13	0,13	725,9262489	675,111411	0,004498434	0,004181427	0,000317007			
2,4	0,13	0,13	725,9262489	682,370674	0,004498434	0,004226694	0,00027174			
2,4	0,13	0,13	725,9262489	682,370674	0,004498434	0,004226694	0,00027174			
2,4	0,13	0,13	725,9262489	689,629936	0,004498434	0,004271967	0,000226466			
2,5	0,13	0,13	731,1061622	701,861916	0,004530767	0,004348269	0,000182498			
2,7	0,28	0,28	741,5645861	697,070711	0,004596058	0,00431838	0,000277678			
2,9	0,28	0,28	752,1556662	699,50477	0,004662191	0,004333564	0,000328627			
3,2	0,28	0,28	768,2941763	699,1477	0,004762991	0,004331336	0,000431654			
3,4	0,28	0,28	779,2232369	701,300913	0,004831271	0,004344769	0,000486502			
3,6	0,28	0,28	790,290059	695,455252	0,004900427	0,004308303	0,000592124			

A.1.6 Kristiansund

Kristiansund										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann /kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
2,1	0	0	710,5815749	476,0896552	0,004402673	0,002942916	0,001459756	9,25	1139	1005
2,1	0	0	710,5815749	476,0896552	0,004402673	0,002942916	0,001459756			
2,1	0	0	710,5815749	476,0896552	0,004402673	0,002942916	0,001459756			
2,1	0	0	710,5815749	476,0896552	0,004402673	0,002942916	0,001459756			
2,1	0	0	710,5815749	476,0896552	0,004402673	0,002942916	0,001459756			
2,1	0	0	710,5815749	476,0896552	0,004402673	0,002942916	0,001459756			
2,1	0	0	710,5815749	476,0896552	0,004402673	0,002942916	0,001459756			
2,2	0	0	715,6641317	472,3383269	0,004434388	0,002919619	0,001514769			
2,3	0	0	720,7789643	468,5063268	0,004466308	0,002895822	0,001570486			
2,4	0	0	725,9262489	464,5927993	0,004498434	0,002871521	0,001626912			
2,5	0	0	731,1061622	460,5968822	0,004530767	0,002846711	0,001684056			
2,6	0	0	736,3188818	456,5177067	0,004563308	0,002821385	0,001741923			

A.1.7 Røros

Røros										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann /kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-9	0	0	282,1534501	279,331916	0,001740758	0,001723302	1,74558E-05	7,27	540	350
-9,5	0	0	269,8242745	267,126032	0,001664489	0,0016478	1,6689E-05			
-10	0	0	257,9804893	255,400684	0,00159124	0,001575287	1,59527E-05			
-10,5	0	0	246,6047645	244,138717	0,001520902	0,001505656	1,52458E-05			
-11	0	0	235,6803567	233,323553	0,00145337	0,001438803	1,45673E-05			
-11,5	0	0	225,1910879	222,939177	0,001388541	0,001374625	1,39161E-05			
-12	0	0	215,1213258	212,970113	0,001326318	0,001313027	1,32912E-05			
-10,9	0	0	237,8299174	235,451618	0,001466657	0,001451956	1,47008E-05			
-9,8	0	0	262,660879	260,03427	0,001620184	0,001603941	1,62436E-05			
-8,8	0	0	287,2250268	284,352777	0,001772136	0,001754365	1,77713E-05			
-7,7	0	0	316,6114763	313,445362	0,001954016	0,001934415	1,96009E-05			
-6,6	0	0	348,6754261	345,188672	0,002152588	0,002130989	2,15996E-05			

A.1.8 Trondheim

Trondheim										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann /kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-6,8	0	0	342,6367236	339,2103564	0,002115181	0,002093958	2,1223E-05	7,25	1216	1076
-6,8	0	0	342,6367236	339,2103564	0,002115181	0,002093958	2,1223E-05			
-6,8	0	0	342,6367236	339,2103564	0,002115181	0,002093958	2,1223E-05			
-6,8	0	0	342,6367236	339,2103564	0,002115181	0,002093958	2,1223E-05			
-6,8	0	0	342,6367236	339,2103564	0,002115181	0,002093958	2,1223E-05			
-6,8	0	0	342,6367236	339,2103564	0,002115181	0,002093958	2,1223E-05			
-6,8	0	0	342,6367236	339,2103564	0,002115181	0,002093958	2,1223E-05			
-6,4	0	0	354,8099036	344,1656065	0,002190594	0,002124651	6,59423E-05			
-6,1	0	0	364,1942433	349,6264736	0,002248742	0,00215848	9,02618E-05			
-5,8	0	0	373,8019819	355,1118828	0,002308286	0,002192465	0,000115821			
-5,5	0	0	383,6379944	360,6197147	0,002369256	0,002226592	0,000142664			
-5,2	0	0	393,70726	366,1477518	0,002431684	0,002260848	0,000170837			

A.1.9 Værnes

Værnes										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann /kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-9	0	0	282,1534501	251,1165706	0,001740758	0,001548798	0,00019196	11,63	642	485
-9,3	0	0	274,6967072	244,4800694	0,001694628	0,001507767	0,000186861			
-9,6	0	0	267,4172494	240,6755245	0,001649601	0,001484247	0,000165354			
-10	0	0	257,9804893	232,1824404	0,00159124	0,00143175	0,00015949			
-10,3	0	0	251,0999716	228,5009742	0,001548695	0,001408997	0,000139698			
-10,6	0	0	244,3843033	222,389716	0,001507175	0,00137123	0,000135945			
-11	0	0	235,6803567	216,8259282	0,00145337	0,001336851	0,00011652			
-10,5	0	0	246,6047645	224,4103357	0,001520902	0,001383717	0,000137186			
-10,1	0	0	255,6684436	230,1015992	0,001576943	0,001418889	0,000158054			
-9,7	0	0	265,0294975	238,5265477	0,001634833	0,001470963	0,00016387			
-9,2	0	0	277,1623989	246,674535	0,001709881	0,001521334	0,000188547			
-8,8	0	0	287,2250268	252,7580236	0,001772136	0,001558947	0,000213189			

A.1.10 Mo i Rana

Mo i Rana										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann /kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsforhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-11,5	0,26	0	225,1910879	218,4353553	0,001388541	0,001346795	4,17464E-05	8,33	1292	1063
-11,5	0,26	0	225,1910879	218,4353553	0,001388541	0,001346795	4,17464E-05			
-11,5	0,26	0	225,1910879	218,4353553	0,001388541	0,001346795	4,17464E-05			
-11,5	0,26	0	225,1910879	218,4353553	0,001388541	0,001346795	4,17464E-05			
-11,5	0,26	0	225,1910879	218,4353553	0,001388541	0,001346795	4,17464E-05			
-11,6	0,26	0	223,1440659	218,6811845	0,001375892	0,001348314	2,75775E-05			
-11,4	0	0	227,2548886	220,437242	0,001401296	0,001359165	4,21307E-05			
-11,2	0	0	231,4333199	224,4903203	0,00142712	0,001384211	4,29089E-05			
-11	0	0	235,6803567	228,609946	0,00145337	0,00140967	4,36999E-05			
-10,8	0	0	239,9970096	230,3971292	0,001480053	0,001420716	5,93373E-05			
-10,6	0	0	244,3843033	234,6089312	0,001507175	0,001446748	6,04272E-05			

A.1.11 Tromsø

Tromsø										
Temperatur [°C] (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0 °C)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighet w_amb (kg vann/kg tørr luft)	Fuktighetsf orhold Deltaw (kg vann/kg tørr luft)	DI (kg vann /kg tørr luft)	WI (mm/år) NEDBØR	WI (mm/år) REGN
-9,8	0	0	262,660879	257,407661	0,00162018	0,0015877	3,2486E-05	8,47	1275	817
-9,8	0	0	262,660879	257,407661	0,00162018	0,0015877	3,2486E-05			
-9,8	0	0	262,660879	257,407661	0,00162018	0,0015877	3,2486E-05			
-9,8	0	0	262,660879	257,407661	0,00162018	0,0015877	3,2486E-05			
-9,8	0	0	262,660879	257,407661	0,00162018	0,0015877	3,2486E-05			
-9,8	0	0	262,660879	257,407661	0,00162018	0,0015877	3,2486E-05			
-9,8	0	0	262,660879	257,407661	0,00162018	0,0015877	3,2486E-05			
-9,1	0	0	279,6479317	268,462014	0,00172526	0,00165606	6,9194E-05			
-8,5	0	0	294,985954	277,286797	0,00182016	0,00171065	0,00010951			
-7,9	0	0	311,0755434	289,300255	0,00191974	0,00178498	0,00013477			
-7,2	0	0	330,8411809	301,065475	0,00204212	0,00185778	0,00018434			
-6,6	0	0	348,6754261	310,321129	0,00215259	0,00191507	0,00023751			

A.1.12 Karasjok

Karasjok										
Temperatur (Grader) (/10)	Nedbør (mm) (/100)	Regn (mm) (inkl. kun dager der T>=0)	Damptrykk V_sat (Pa)	Omgivende damptrykk V_amb (Pa)	Fuktighet w_sat (kg/kg)	Fuktighet w_amb (kg/kg)	Fuktighetsfo rhold Deltaw	DI (kg/kg)	WI (nedbør) (mm)	WI (regn) (mm)
-8,6	0,1	0	292,378305	254,369125	0,00180402	0,00156891	0,00023511	7,40	240	179
-8,8	0,1	0	287,225027	255,630274	0,00177214	0,00157671	0,00019543			
-9,1	0,1	0	279,647932	254,479618	0,00172526	0,00156959	0,00015566			
-9,4	0,1	0	272,250713	253,193163	0,0016795	0,00156164	0,00011786			
-9,6	0,1	0	267,417249	254,046387	0,0016496	0,00156691	8,2688E-05			
-9,9	0,1	0	260,311256	252,501918	0,00160565	0,00155736	4,829E-05			
-10,2	0,1	0	253,374983	250,841233	0,00156276	0,0015471	1,5666E-05			
-9,3	0,02	0	274,696707	269,202773	0,00169463	0,00166064	3,3983E-05			
-8,5	0,02	0	294,985954	286,136375	0,00182016	0,0017654	5,476E-05			
-7,6	0,02	0	319,412539	309,830162	0,00197136	0,00191204	5,9323E-05			
-6,8	0,02	0	342,636724	328,931255	0,00211518	0,0020303	8,4883E-05			
-5,9	0,02	0	370,574281	352,045567	0,00228828	0,00217347	0,00011481			

A BEREGNING OG GRAFER AV MOISTURE INDEX (MI)

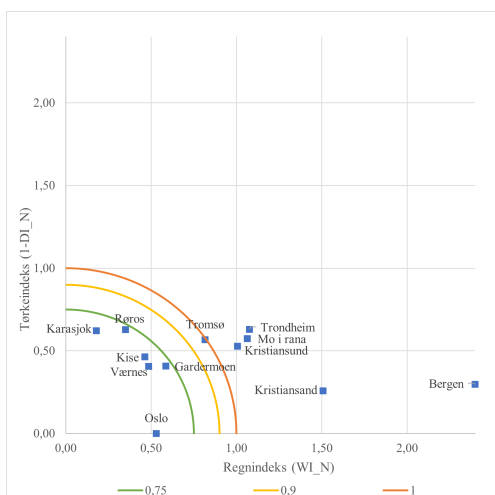
A.2 Beregning av MI for 5 normaliseringsordninger

N5 - slagregnindeks	N3	N1	N2	N4
N(DI) = 19,6, N(WI) = 1500	N(DI) = 19,6, N(WI) = 2400	N(DI) = 19,6, N(WI) = 1000	N(DI) = 19,6, N(WI) = 1500	N: I = (I - Imin)/(Imaks - Imin)

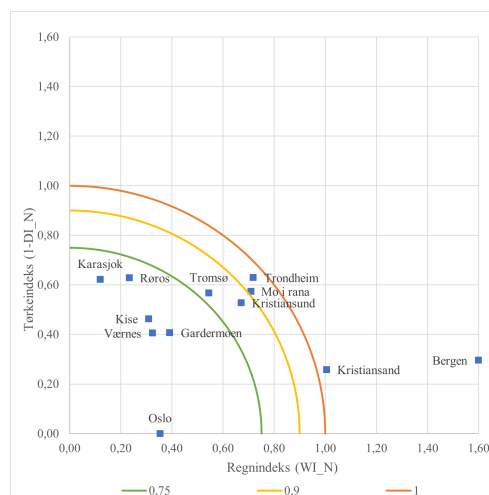
	Land	Sted	DI (kg vann/kg tørr luft)	WI (nedbør) (mm)	WI (regn) (mm)	WI (slagregnind eks) (mm/år)	1- DI_N	WI_N (slagregn)	MI5 (slagregn)	1- DI_N	WI_N	MI3	1- DI_N	WI_N	MI1	1- DI_N	WI_N	MI2	1- DI_N	WI_N	MI4
1	Norge	Kristiansand	14,5	1643	1507	589	0,26	0,39	0,47	0,26	0,63	0,68	0,26	1,51	1,53	0,26	1,00	1,04	0,41	0,60	0,73
2	Norge	Oslo	19,6	599	531	168	0,00	0,11	0,11	0,00	0,22	0,22	0,00	0,53	0,53	0,00	0,35	0,35	0,00	0,16	0,16
3	Norge	Gardermoen	11,6	772	586	207	0,41	0,14	0,43	0,41	0,24	0,48	0,41	0,59	0,71	0,41	0,39	0,56	0,65	0,18	0,67
4	Norge	Kise	10,5	533	463	68	0,46	0,05	0,47	0,46	0,19	0,50	0,46	0,46	0,65	0,46	0,31	0,56	0,74	0,13	0,75
5	Norge	Bergen	13,8	2413	2398	1496	0,30	1,00	1,04	0,30	1,00	1,04	0,30	2,40	2,42	0,30	1,60	1,63	0,47	1,00	1,11
6	Norge	Kristiansund	9,2	1139	1005	1035	0,53	0,69	0,87	0,53	0,42	0,67	0,53	1,01	1,14	0,53	0,67	0,85	0,84	0,37	0,92
7	Norge	Røros	7,3	540	350	58	0,63	0,04	0,63	0,63	0,15	0,65	0,63	0,35	0,72	0,63	0,23	0,67	1,00	0,08	1,00
8	Norge	Trondheim	7,2	1216	1076	613	0,63	0,41	0,75	0,63	0,45	0,77	0,63	1,08	1,25	0,63	0,72	0,95	1,00	0,40	1,08
9	Norge	Værnes	11,6	642	485	310	0,41	0,21	0,46	0,41	0,20	0,45	0,41	0,49	0,63	0,41	0,32	0,52	0,64	0,14	0,66
10	Norge	Mo i rana	8,3	1292	1063	753	0,57	0,50	0,76	0,57	0,44	0,73	0,57	1,06	1,21	0,57	0,71	0,91	0,91	0,40	1,00
11	Norge	Tromsø	8,5	1275	817	448	0,57	0,30	0,64	0,57	0,34	0,66	0,57	0,82	0,99	0,57	0,54	0,79	0,90	0,29	0,95
12	Norge	Karasjok	7,4	240	179	11	0,62	0,01	0,62	0,62	0,07	0,63	0,62	0,18	0,65	0,62	0,12	0,63	0,99	0,00	0,99

	DI	WI nedbør	WI regn	WI slagregn
Maksima	19,6	2413	2398	1496
Minimum	7,2	240	179	11

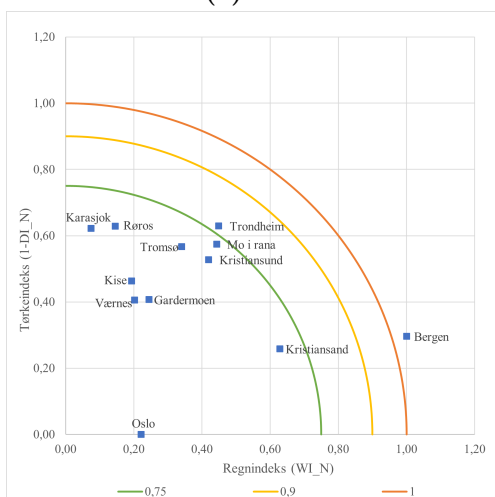
A.3 Aksesystem MI



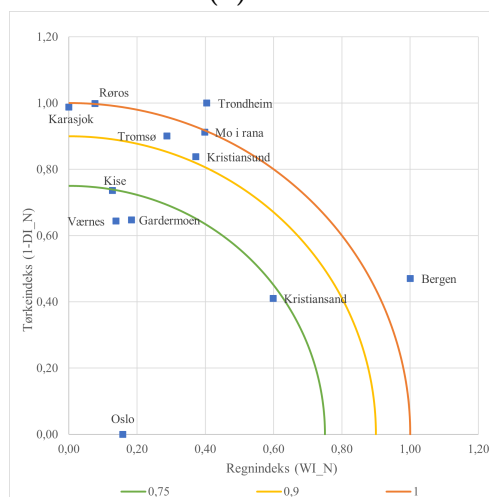
(a) MI1



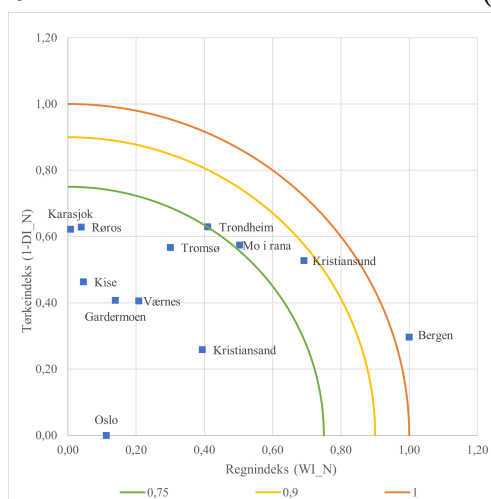
(b) MI2



(c) MI3



(d) MI4



(e) MI5

Beregnet WI_N og $(1-DI_N)$ for hver av de 12 byene, satt inn i aksesystemet i henhold til MI-definisjonen. Alle 5 normaliseringsordninger er vist.

B Beregninger råteindekser (SI)

Gule kolonner er innhentet råteindekser fra Lisø *et al.* (2006).

B.1 Kristiansand

RÅTEINDEKS										
Kristiansand										
MÅNED 2	Måneds nr.	Antall dager	T - Gjennomsnittlig månedstemperat ur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med >= 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (MÅNED)	SI (ÅR)	SI (Robert L. <i>et al.</i> , 2006)	SI (Robert L. <i>et al.</i> , 2006)
Januar	1	31	-3,6	17	0	14	0	64	1	50
Februar	2	28	0,3	17	0	14	0		0	
Mars	3	31	4,1	22	2	19	2		1	
April	4	30	5,2	13	3	10	2		2	
Mai	5	31	9,3	24	7	21	9		5	
Juni	6	30	14,1	12	12	9	7		6	
Juli	7	31	16,0	14	14	11	9		8	
August	8	31	15,6	16	14	13	11		9	
September	9	30	12,7	18	11	15	10		9	
Oktober	10	31	8,7	28	7	25	10		7	
November	11	30	5,7	24	4	21	5		3	
Desember	12	31	-1,0	15	0	12	0		1	

B.2 Oslo

RÅTEINDEKS										
Oslo										
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D -Gjennomsnittlig antall dager i en måned med >= 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (MÅNED)	SI (ÅR)	SI (måned) (Robert L. <i>et al.</i> , 2006)	SI (år) (Robert L. <i>et al.</i> , 2006)
Januar	1	31	-2,8	13	0	10	0	37	0	48
Februar	2	28	-4,0	7	0	4	0		0	
Mars	3	31	1,9	16	0	13	0		0	
April	4	30	5,8	8	4	5	1		1	
Mai	5	31	11,4	2	9	-1	-1		6	
Juni	6	30	12,2	21	10	18	11		9	
Juli	7	31	18,9	12	17	9	9		11	
August	8	31	17,2	13	15	10	9		10	
September	9	30	11,6	13	10	10	6		7	
Oktober	10	31	6,4	8	4	5	1		4	
November	11	30	2,4	20	0	17	0		0	
Desember	12	31	0,1	9	0	6	0		0	

B.3 Gardermoen

RÅTEINDEKS								
Gardermoen								
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D -Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)
Januar	1	31	-9,1	15	0	12	0	37
Februar	2	28	-5,8	17	0	14	0	
Mars	3	31	-2,2	13	0	10	0	
April	4	30	2,6	13	1	10	0	
Mai	5	31	9,5	14	7	11	5	
Juni	6	30	13,1	22	11	19	13	
Juli	7	31	16,8	13	15	10	9	
August	8	31	13,2	15	11	12	8	
September	9	30	8,1	9	6	6	2	
Oktober	10	31	4,6	6	3	3	0	
November	11	30	-0,9	14	0	11	0	
Desember	12	31	-0,4	16	0	13	0	

B.4 Kise

RÅTEINDEKS								
Kise								
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D -Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)
Januar	1	31	-9,4	8	0	5	0	35
Februar	2	28	-7,2	12	0	9	0	
Mars	3	31	-2,9	12	0	9	0	
April	4	30	2,8	12	1	9	0	
Mai	5	31	9,6	16	8	13	6	
Juni	6	30	13,4	22	11	19	13	
Juli	7	31	18,2	9	16	6	6	
August	8	31	14,3	13	12	10	7	
September	9	30	9,2	6	7	3	1	
Oktober	10	31	5,1	10	3	7	1	
November	11	30	0,4	10	0	7	0	
Desember	12	31	0,1	11	0	8	0	

B.5 Bergen

RÅTEINDEKS											
Bergen											
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)	SI (måned) (Robert L. et al., 2006)	SI (år) (Robert L. et al., 2006)	
Januar	1	31	3,2	24	1	21	2	64	1	70	
Februar	2	28	0,1	14	0	11	0		0		
Mars	3	31	5,4	22	3	19	4		1		
April	4	30	6,9	18	5	15	4		3		
Mai	5	31	8,9	14	7	11	5		7		
Juni	6	30	10,8	24	9	21	11		9		
Juli	7	31	17,0	7	15	4	4		11		
August	8	31	15,2	20	13	17	13		12		
September	9	30	11,1	23	9	20	11		11		
Oktober	10	31	7,9	13	6	10	4		8		
November	11	30	5,6	20	4	17	4		4		
Desember	12	31	4,7	24	3	21	3		1		

B.6 Kristiansund

RÅTEINDEKS									
Kristiansund									
MÅNED2	Månedsnr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)	
Januar	1	31	1,0	15	0	12	0	74	
Februar	2	28	4,2	21	2	18	2		
Mars	3	31	3,8	30	2	27	3		
April	4	30	5,1	18	3	15	3		
Mai	5	31	8,6	21	7	18	7		
Juni	6	30	11,3	21	9	18	10		
Juli	7	31	13,0	23	11	20	13		
August	8	31	13,1	20	11	17	11		
September	9	30	12,5	23	10	20	13		
Oktober	10	31	11,4	15	9	12	7		
November	11	30	6,6	20	5	17	5		
Desember	12	31	1,2	23	0	20	0		

B.7 Røros

RÅTEINDEKS										
Røros										
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med >= 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)	SI (måned) (Robert L. et al., 2006)	SI (år) (Robert L. et al., 2006)
Januar	1	31	-13,5	22	0	19	0	35	0	28
Februar	2	28	-14,1	20	0	17	0		0	
Mars	3	31	-5,7	12	0	9	0		0	
April	4	30	-2,0	12	0	9	0		0	
Mai	5	31	5,9	9	4	6	1		2	
Juni	6	30	10,3	18	8	15	7		6	
Juli	7	31	12,1	20	10	17	10		8	
August	8	31	11,3	24	9	21	12		7	
September	9	30	4,4	23	2	20	3		4	
Oktober	10	31	3,8	17	2	14	1		0	
November	11	30	-9,4	14	0	11	0		0	
Desember	12	31	-14,9	17	0	14	0		0	

B.8 Trondheim

RÅTEINDEKS										
Trondheim										
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med >= 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)		
Januar	1	31	-0,9	16	0	13	0	49		
Februar	2	28	-0,3	13	0	10	0			
Mars	3	31	-2,1	19	0	16	0			
April	4	30	3,3	15	1	12	1			
Mai	5	31	10,2	18	8	15	7			
Juni	6	30	11,4	17	9	14	8			
Juli	7	31	13,6	20	12	17	12			
August	8	31	13,2	14	11	11	7			
September	9	30	9,0	25	7	22	9			
Oktober	10	31	4,9	26	3	23	4			
November	11	30	-0,5	22	0	19	0			
Desember	12	31	1,9	24	0	21	0			

B.9 Værnes

RÅTEINDEKS										
Værnes										
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)	SI (måned) (Robert L. et al., 2006)	SI (år) (Robert L. et al., 2006)
Januar	1	31	-3,8	21	0	18	0	25	0	52
Februar	2	28	-1,9	17	0	14	0		0	
Mars	3	31	0,3	25	0	22	0		0	
April	4	30	4,0	17	2	14	2		2	
Mai	5	31	7,0	14	5	11	3		5	
Juni	6	30	13,2	13	11	10	7		9	
Juli	7	31	13,8	13	12	10	7		12	
August	8	31	12,9	4	11	1	1		11	
September	9	30	10,8	9	9	6	3		9	
Oktober	10	31	3,8	22	2	19	2		4	
November	11	30	-4,5	10	0	7	0		0	
Desember	12	31	-1,4	16	0	13	0		0	

B.10 Mo i Rana

RÅTEINDEKS										
Mo i Rana										
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D -Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)		
Januar	1	31	-7,9		15	0	12	0		41
Februar	2	28	-5,1		19	0	16	0		
Mars	3	31	-1,2		15	0	12	0		
April	4	30	1,9		11	0	8	0		
Mai	5	31	5,8		24	4	21	5		
Juni	6	30	11,1		22	9	19	10		
Juli	7	31	14,0		15	12	12	9		
August	8	31	13,1		16	11	13	9		
September	9	30	7,3		28	5	25	8		
Oktober	10	31	2,5		15	0	12	0		
November	11	30	0,0		17	0	14	0		
Desember	12	31	-2,8		20	0	17	0		

B.11 Tromsø

RÅTEINDEKS										
Tromsø										
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)	SI (måned) (Robert L. et al., 2006)	SI (år) (Robert L. et al., 2006)
Januar	1	31	-4,4	23	0	20	0	26	0	33
Februar	2	28	-5,1	11	0	8	0		0	
Mars	3	31	-5,2	18	0	15	0		0	
April	4	30	-0,5	17	0	14	0		0	
Mai	5	31	4,0	12	2	9	1		2	
Juni	6	30	11,0	5	9	2	1		6	
Juli	7	31	10,6	21	9	18	9		10	
August	8	31	11,0	21	9	18	10		8	
September	9	30	6,1	24	4	21	5		5	
Oktober	10	31	2,1	20	0	17	0		1	
November	11	30	-3,4	24	0	21	0		0	
Desember	12	31	-1,4	23	0	20	0		0	

B.12 Karasjok

RÅTEINDEKS										
Karasjok										
MÅNED2	Måneds nr.	Antall dager	T - gjennomsnittlig månedstemperatur [°C]	D - Gjennomsnittlig antall dager i en måned med ≥ 0.25 mm nedbør	(T-2)	(D-3)	SI (måned)	SI (År)	SI (måned) (Robert L. et al., 2006)	SI (år) (Robert L. et al., 2006)
Januar	1	31	-24,1	13	0	10	0	12	0	26
Februar	2	28	-11,6	5	0	2	0		0	
Mars	3	31	-10,7	11	0	8	0		0	
April	4	30	-2,5	7	0	4	0		0	
Mai	5	31	6,0	9	4	6	1		1	
Juni	6	30	8,5	8	7	5	2		6	
Juli	7	31	12,5	11	10	8	5		9	
August	8	31	11,0	8	9	5	3		7	
September	9	30	2,6	14	1	11	0		3	
Oktober	10	31	-3,7	5	0	2	0		0	
November	11	30	-11,2	11	0	8	0		0	
Desember	12	31	-14,3	6	0	3	0		0	

C Beregninger slagregnindekser (I_{Θ})

Slagregnindeksberegning for de 12 byene ligger vedlagt videre fra C.1 til C.12. Vindretning, D , er sortert inn i 10-graders sektorer vertikalt, mens fasaderetning, Θ , er beregnet for hver 10. fasaderetning horisontalt. Røde celler er de vindretningene som ikke treffer fasaderetningen innenfor intervallet $\pm 80^\circ$. Hver kolonne for fasaderetningene summeres og multipliseres med faktoren 0,206 til slagregnindeksen, I_{Θ} , uthevet med grønn. Slagregnmengder per fasaderetning er også illustrert som stolpediagram.

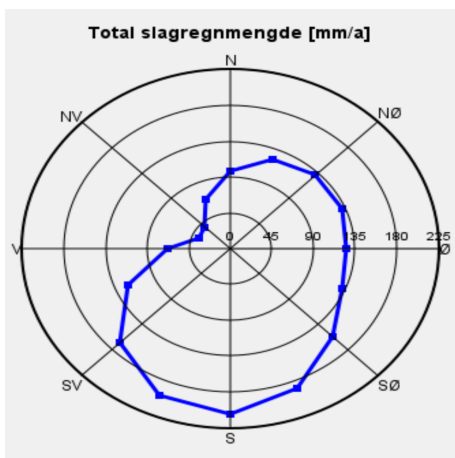
D MDRY klimafilenes avvik fra normalverdier

Nr.	Normalår	MDRY	By	Type	Temperatur					Nedbør					
					°C	°C	°C	%	°C	MDRYs forskjell fra N(1961 - 1990)	MDRYs forskjell fra N(1991 - 2020)	°C	°C	°C	[mm]
1	39040		Kristiansand	Årsmiddel	7,3	6,6	7,6	10,6	0,7	-0,3	1643	1299	1383	26,4	18,7
2	18700		Oslo	Årsmiddel	6,8	5,7	7	20,1	1,1	-0,2	599	763	836	-21,4	-28,3
3	4780		Gardermoen	Årsmiddel	4,2	3,8	5,3	10,2	0,4	-1,1	772	862	867	-10,4	-11,0
4	12550		Kise	Årsmiddel	4,6	3,6	5,1	26,5	1,0	-0,5	533	585	607	-8,9	-12,2
5	50540		Bergen	Årsmiddel	8,1	7,6	8,4	6,8	0,5	-0,3	2413	2250	2495	7,3	-3,3
6	64260		Kristiansund	Årsmiddel	7,7	6,6		16,1	1,1		1139	1224		-6,9	
7	10400		Roros	Årsmiddel	-0,9	0,3	1	-394,8	-1,2	-1,9	540	504	534	7,2	1,2
8	68170		Trondheim	Årsmiddel	5,4	4,9		9,4	0,5		1216	850		43,1	
9	69100		Vernes	Årsmiddel	4,6	5,3	6,1	-14,1	-0,7	-1,5	642	892	823	-28,1	-22,1
10	79480		Mo i rana	Årsmiddel	3,3	2,8		16,9	0,5		1292	1431	1462	-9,7	-11,7
11	90450		Tromsø	Årsmiddel	2,1	2,5	3,4	-15,9	-0,4	-1,3	1275	1031	1091	23,7	16,9
12	97250		Karasjok	Årsmiddel	-3,1	-2,4	-1,3	-28,6	-0,7	-1,8	240	366	415	-34,5	-42,2

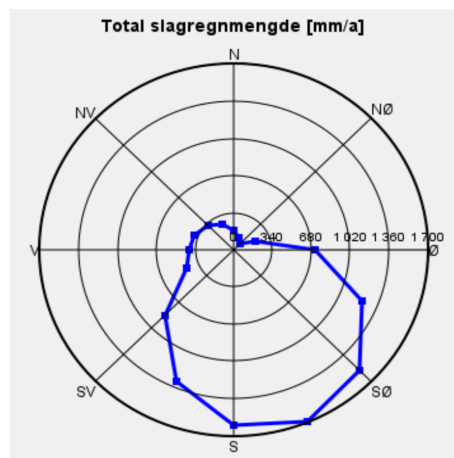
Innhentet normalverdier fra Meteorologisk institutt (u.å.), samt beregnet MDRY klimafilenes avvik fra innhentet verdier for både årsmiddeltemperatur og årlig nedbør er vist. Tilhørende stasjonsnummer fra både MDRY klimafilene og innhentet verdier er også satt opp.

E Informasjon og input i WUFI Pro

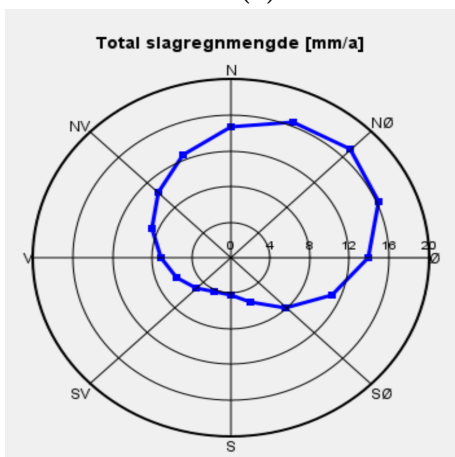
E.1 Slagregnroser for de 6 simulerte byene



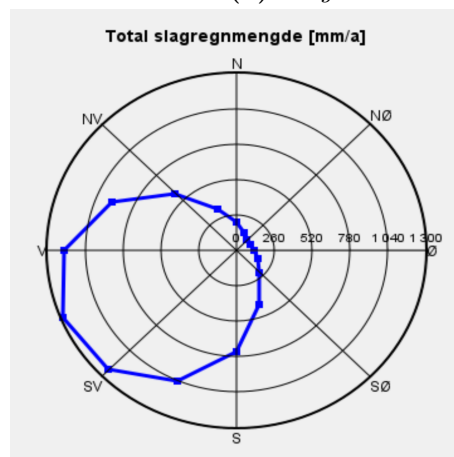
(a) Oslo



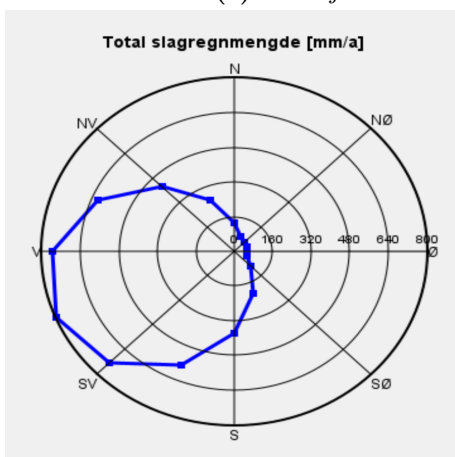
(b) Bergen



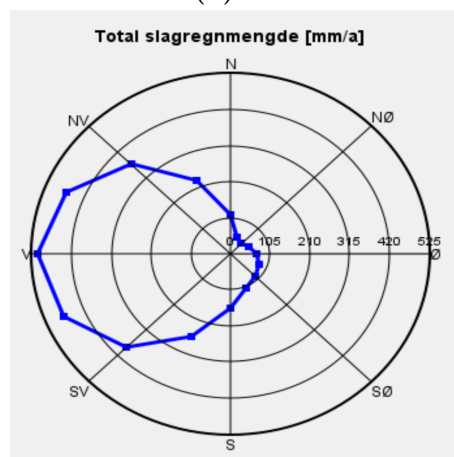
(c) Karasjok



(d) Kristiansund



(e) Trondheim



(f) Værnes

Slagregnroser for de seks utvalgte byene i klimarangeringen av en yttervegg hentet fra klimaanalysen i WUFI Pro.

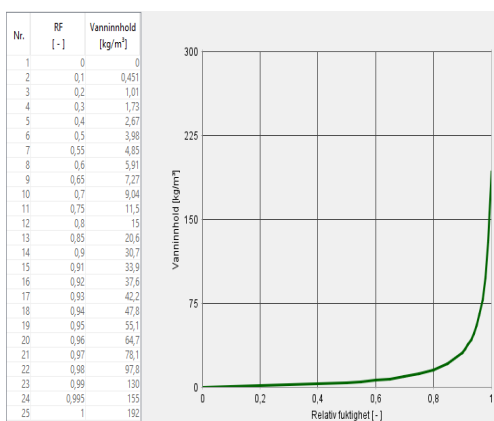
E.2 Overflaters overgangskoeffisienter

Variant: #1 Trondheim

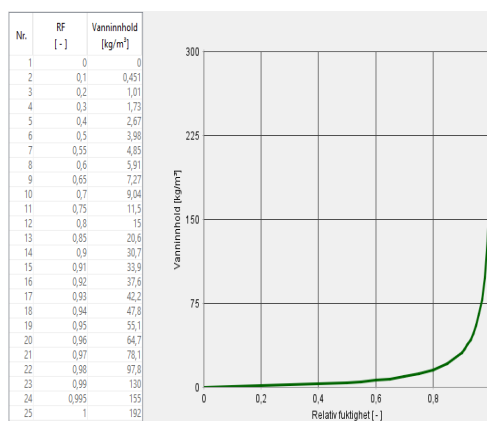
Oppbygning/Monitorposisjoner	Orientering/Helning/Høyde	Overflaters overgangskoeff.	Startbetingelser
Ytre overflate (venstre side)			
Varmemotstand [(m ² K)/W]	0.0588	Yttervegg	▼
inkluderer langbølgete strålingsbidrag [W/(m ² K)]	6.5		
Vindavhengig	<input type="checkbox"/>	...	
Sd-verdi [m]	----	Ingen overflatebehandling	▼
Forklaring: Denne innstillingen har ingen innvirkning på			
Kortbølget strålingsabsorpsjonstall [-]	0.4	Puss, normalt lys	▼
Langbølget strålingsemissivitet [-]	----		
Reduksjonsfaktorer på grunn av skygge:			
for absorpsjonstall [-]	----	Ingen skygge	▼
for emissivitet [-]	----		
Eksplisitt strålingsbalanse	<input type="checkbox"/>	...	Merknad: Med dette valget tas det hensyn til avkjølingseffekten pga langbølget utstråling. Ved følsomme tilfeller kan det være nødvendig at klimafilen har tilstrekkelig nøyaktige data om motstråling.
Terreng, kortbølget refleksjonsgrad [-]	0.2	Standardverdi	▼
Regnvannabsorpsjonstall [-]	0.7	Avhengig av komponenthelning	▼
Indre overflate (høyre side)			
Varmemotstand [(m ² K)/W]	0.125	(Yttervegg)	
Sd-verdi [m]	----	Ingen overflatebehandling	▼

Overflaters overgangskoeffisienter innstillinger i WUFI Pro simuleringene.

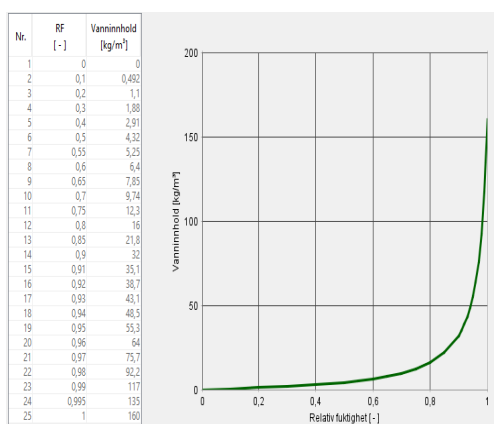
E.3 Fuktlagringsfunksjon til materialer



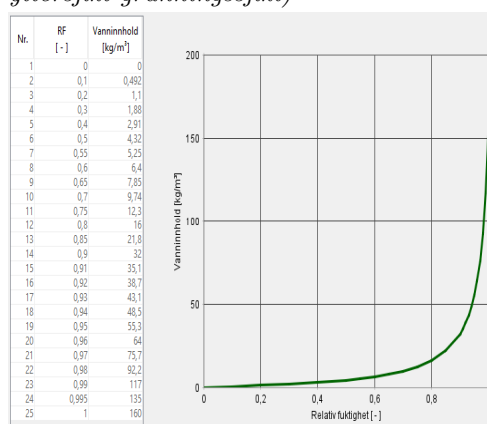
(a) Utvendig puss A - sjikt 1 (yttersjikt)



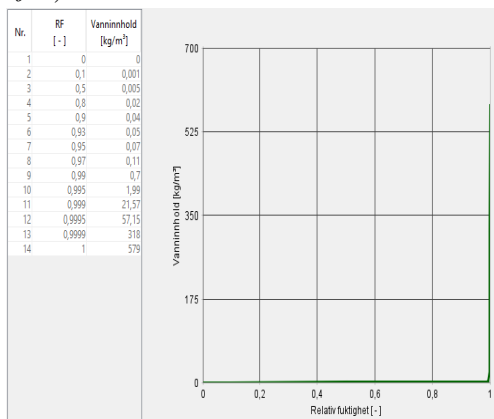
(b) Utvendig puss A- sjikt 2 (motstand yttersjikt-grunningssjikt)



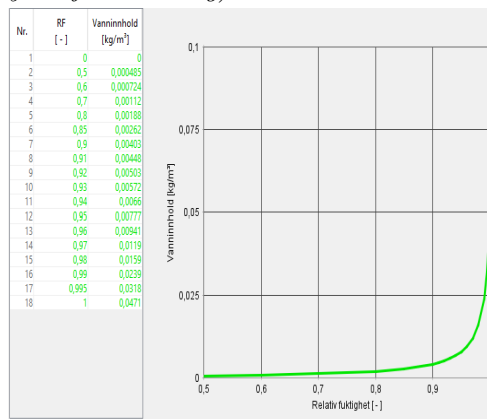
(c) Utvendig puss A- sjikt 3 (grunningssjikt)



(d) Utvendig puss A- sjikt 4 (motstand yttersjikt-underlag)

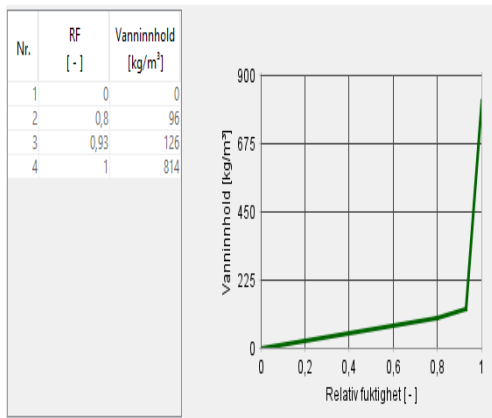


(e) Rockwool rockboard

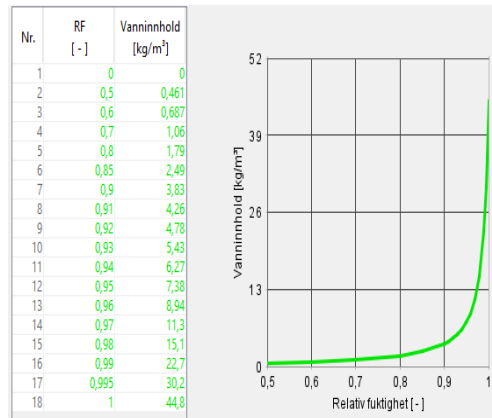


(f) Weather resistive barrier

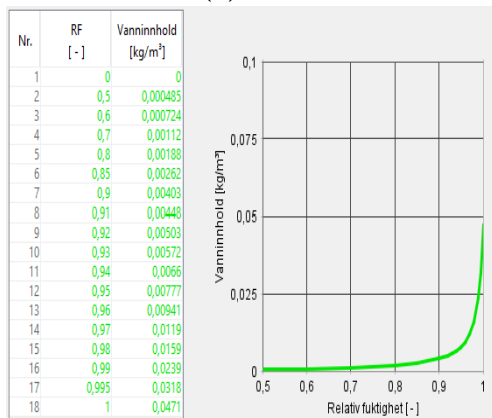
Fuktlagringsfunksjoner for hvert materiale i veggen som startfuktigheten for hvert materiale er basert på.



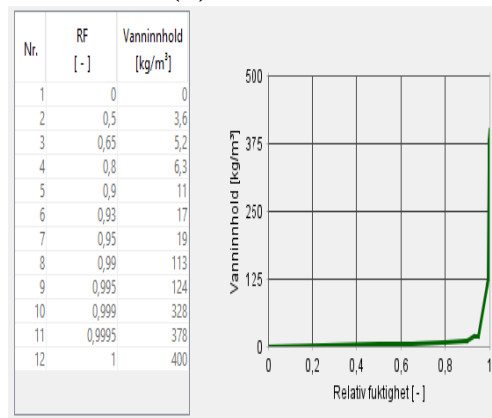
(a) OSB



(b) Mineralull



(c) PE-folie



(d) Gipsplate

Fuktlagringsfunksjoner for hvert materiale i veggen som startfuktigheten for hvert materiale er basert på.

E.4 Klimaparametre innlagt i WAC-generatoren

Year		Month	Day	Hour	cumul. Hour	Temperature [°C]	Air Humidity	Radiation [W/m²]	Radiation [W/m²]	Cloud Index [-]	Rain [L/m²/h]	Wind Direction [°]	Wind Speed [m/s]
Year		Month	Day	Hour	cumul. Hour	Air Temperature	Rel. Humidity [%]	Solar Global Horiz.	Solar Diffuse Horiz.	[Okias]	Normal Rain	north = 0; clockwise	Skalar Average
1	1	1	1	1	1	-6.8	99	0	0	7	0	210	4.6
1	1	1	1	2	2	-6.8	99	0	0	7	0	210	4.6
1	1	1	1	3	3	-6.8	99	0	0	7	0	210	4.6
1	1	1	1	4	4	-6.8	99	0	0	7	0	210	4.6
1	1	1	1	5	5	-6.8	99	0	0	7	0	210	4.6
1	1	1	1	6	6	-6.8	99	0	0	7	0	210	4.6
1	1	1	1	7	7	-6.8	99	0	0	7	0	210	4.6
1	1	1	1	8	8	-6.4	97	0	0	6.8	0	210	4.4
1	1	1	1	9	9	-6.1	96	0	0	6.6	0	210	4.2
1	1	1	1	10	10	-5.8	95	0	0	6.5	0	210	4.1
1	1	1	1	11	11	-5.5	94	14	14	6.3	0	210	3.9
1	1	1	1	12	12	-5.2	93	24	24	6.1	0	210	3.7
1	1	1	1	13	13	-4.9	92	24	24	6	0	210	3.6
1	1	1	1	14	14	-4.5	92	11	11	6.1	0	209	3.7
1	1	1	1	15	15	-4.2	93	0	0	6.3	0	207	3.9
1	1	1	1	16	16	-3.9	94	0	0	6.5	0	205	4.1
1	1	1	1	17	17	-3.6	95	0	0	6.6	0	204	4.2
1	1	1	1	18	18	-3.3	96	0	0	6.8	0	202	4.4
1	1	1	1	19	19	-3	97	0	0	7	0	200	4.6
1	1	1	1	20	20	-2.8	97	0	0	7	0	200	4.5
1	1	1	1	21	21	-2.7	97	0	0	7	0	200	4.3
1	1	1	1	22	22	-2.6	97	0	0	7	0	200	4.2
1	1	1	1	23	23	-2.5	97	0	0	7	0	200	4.1
1	1	1	1	24	24	-2.3	97	0	0	7	0	200	3.9

TEST.wac
Export to .WAC file
Ver.: 2.6
Note:

Location: Trondheim
Description: Ingen ending
Longitude [°]: 10.43
Latitude [°]: 63.72
Altitude [m]: 113
Time Zone [h]: 1.0
First Year [YYYY]: 2018

Utklipp av WAC-generatoren og innlagte klimaparametre benyttet til å generere egne klimafilere som input i WUFI Pro i sensitivitetsanalysene. Det er kun de 24 første timene av hele året er med i utklippet. WAC-generatoren er lastet ned fra Fraunhofer IBP (u.å.-a).

F Sensitivitetsanalyser for Trondheim

F.1 Sensitivitetsanalyse Moisture index (MI)

Normaliseringsverdi (DI)	30 kg vann/kg tørr luft
Normaliseringsverdi (WI)	1000 mm

	Temperatur						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
DI	6,01	6,60	6,98	7,25	7,52	7,95	8,71
WI (Regn)	881,2	969,5	1027,5	1075,7	1102,9	1140,3	1177,6
WI (nedbør)	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7
DI_N	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,29
WI_N (regn)	0,88	0,97	1,03	1,08	1,10	1,14	1,18
WI_N(nedbør)	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
MI (regn)	1,19	1,24	1,28	1,32	1,33	1,36	1,37
MI (nedbør)	1,46	1,44	1,44	1,43	1,43	1,42	1,41
%-vis endring fra referanse	1,6	0,8	0,3	0,0	-0,3	-0,9	-1,8

	Relativ fuktighet (RF)						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
DI	30,44	18,87	11,91	7,25	4,28	2,08	0,44
WI (Regn)	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7
WI (nedbør)	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7
DI_N	1,01	0,63	0,40	0,24	0,14	0,07	0,01
WI_N (regn)	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
WI_N(nedbør)	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
MI (regn)	1,08	1,14	1,23	1,32	1,38	1,42	1,46
MI (nedbør)	1,22	1,27	1,36	1,43	1,49	1,53	1,56
%-vis endring fra referanse	-15,1	-11,3	-5,3	0,0	3,8	6,8	9,2

	Nedbør						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
DI	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25
WI (Regn)	537,8	806,8	968,1	1075,7	1183,3	1344,6	1613,5
WI (nedbør)	607,9	911,8	1094,1	1215,7	1337,3	1519,7	1823,6
DI_N	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
WI_N (regn)	0,54	0,81	0,97	1,08	1,18	1,34	1,61
WI_N(nedbør)	0,61	0,91	1,09	1,22	1,34	1,52	1,82
MI (regn)	0,93	1,11	1,23	1,32	1,41	1,54	1,78
MI (nedbør)	0,97	1,19	1,33	1,43	1,54	1,70	1,97
%-vis endring fra referanse	-32,2	-17,2	-7,1	0,0	7,3	18,5	37,8

Sensitivitetsanalyse av de tre klimaparameterne temperatur, relativ fuktighet og nedbør for MI. DI normalisert med hensyn på 30 kg_{vann}/kg_{tørrluft} og WI med 1000 mm. Klimafilen for Trondheim benyttes i analysen.

F.2 Sensitivitetsanalyse råteindeks (SI)

Normaliseringsverdi (DI)	30 kg vann/kg tørr luft
Normaliseringsverdi (WI)	2400 mm

	Temperatur						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
DI	6,01	6,60	6,98	7,25	7,52	7,95	8,71
WI (Regn)	881,2	969,5	1027,5	1075,7	1102,9	1140,3	1177,6
WI (nedbør)	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7
DI_N	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,29
WI_N (regn)	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
WI_N(nedbør)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
MI (regn)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,86
MI (nedbør)	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87
%-vis endring fra referanse	3,8	2,0	0,8	0,0	-0,8	-2,1	-4,4

	Relativ fuktighet (RF)						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
DI	30,44	18,87	11,91	7,25	4,28	2,08	0,44
WI (Regn)	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7	1075,7
WI (nedbør)	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7	1215,7
DI_N	1,01	0,63	0,40	0,24	0,14	0,07	0,01
WI_N (regn)	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
WI_N(nedbør)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
MI (regn)	0,45	0,58	0,75	0,88	0,97	1,03	1,08
MI (nedbør)	0,51	0,63	0,79	0,91	1,00	1,06	1,11
%-vis endring fra referanse	-44,4	-31,2	-13,6	0,0	9,2	16,2	21,5

	Nedbør						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
DI	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25
WI (Regn)	537,8	806,8	968,1	1075,7	1183,3	1344,6	1613,5
WI (nedbør)	607,9	911,8	1094,1	1215,7	1337,3	1519,7	1823,6
DI_N	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
WI_N (regn)	0,22	0,34	0,40	0,45	0,49	0,56	0,67
WI_N(nedbør)	0,25	0,38	0,46	0,51	0,56	0,63	0,76
MI (regn)	0,79	0,83	0,86	0,88	0,90	0,94	1,01
MI (nedbør)	0,80	0,85	0,88	0,91	0,94	0,99	1,07
%-vis endring fra referanse	-12,3	-7,0	-3,0	0,0	3,2	8,3	17,7

Sensitivitetsanalyse av de tre klimaparameterne temperatur, relativ fuktighet og nedbør for moisture index MI. DI normalisert med hensyn på 30 kg_{vann}/kg_{tørrluft} og WI med 2400 mm. Klimafilen for Trondheim benyttes i analysen.

	Nedbør						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
Råteindeks (SI)	41	46	47	49	50	50	50
%-vis endring fra referanse	-14,8	-4,6	-3,1	0,0	2,5	2,7	3,6

	Temperatur						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
Råteindeks (SI)	31	39	45	49	53	59	71
%-vis endring fra referanse	-35,6	-18,8	-7,6	0,0	8,8	22,1	45,4

Sensitivitetsanalyse av to klimaparametre; temperatur og nedbør for råteindeks SI. Klimafil for Trondheim benyttes i analysen.

F.3 Sensitivitetsanalyse slagregnindeks (I)

	Vindhastighet						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
Slagregnindeks (I)	341	512	614	682	751	853	1023
%-vis endring fra referanse	-50,0	-25,0	-10,0	0,0	10,0	25,0	50,0

	Nedbør						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
Slagregnindeks (I)	341	512	614	682	751	853	1023
%-vis endring fra referanse	-50,0	-25,0	-10,0	0,0	10,0	25,0	50,0

Sensitivitetsanalyse av to klimaparametre; vindhastighet og nedbør for slagregnindeksen, I_Θ. Klimafilen for Trondheim benyttes i analysen.

F.4 Sensitivitetsanalyse vanninnhold OSB-plate (VI) i WUFI Pro

F.4.1 Konvergensfeil og balanse

Simulering: Uten fuktkilde					
Klima-parameter	Endring	Antall konvergens feil	Balanse		Gjennomsnittlig vanninnhold OSB [M-%]
			1	2	
Vindhastighet	+ 50%	34	-2,67	-2,68	15,615
	+ 25%	41	-2,87	-2,88	15,551
	+ 10%	43	-2,89	-2,91	15,534
	-10%	35	-2,9	-2,91	15,493
	-25%	28	-2,93	-2,93	15,379
	-50%	25	-2,98	-2,98	15,177
Relativ fuktighet	+ 50%	455	-2,25	-2,35	16,468
	+ 25%	291	-2,34	-2,36	16,207
	+ 10%	104	-2,49	-2,5	15,928
	-10%	27	-3,34	-3,34	14,924
	-25%	9	-3,6	-3,6	14,288
	-50%	19	-3,86	-3,87	13,550
Nedbør	+ 50%	34	-2,67	-2,66	15,615
	+ 25%	41	-2,87	-2,88	15,551
	+ 10%	43	-2,89	-2,91	15,534
	-10%	34	-2,9	-2,91	15,493
	-25%	28	-2,93	-2,93	15,379
	-50%	25	-2,98	-2,98	15,177
Temperatur	+ 50%	35	-2,72	-2,74	16,324
	+ 25%	21	-2,82	-2,82	15,910
	+ 10%	29	-2,87	-2,87	15,673
	-10%	41	-2,93	-2,94	15,376
	-25%	36	-2,97	-2,98	15,159
	-50%	39	-3,04	-3,04	14,800

Konvergensfeil og balanse for simuleringene i sensitivitetsanalysen for simulert tilfelle uten fuktkilde implementert.

Simulering: Med fuktkilde					
Klima- parameter	Endring	Antall konvergens feil	Balanse		Gjennomsnittlig vanninnhold OSB [M-%]
			1	2	
Vindhastighet	+ 50%	76	-2,46	-2,66	17,535
	+ 25%	69	-2,7	-2,86	17,113
	+ 10%	65	-2,74	-2,82	16,876
	-10%	53	-2,78	-2,8	16,569
	-25%	45	-2,82	-2,84	16,271
	-50%	30	-2,91	-2,93	15,775
Relativ fuktighet	+ 50%	688	-2,09	-2,4	18,061
	+ 25%	418	-2,19	2,45	17,655
	+ 10%	218	-2,35	-2,49	17,260
	-10%	10	-3,21	-3,22	16,113
	-25%	21	-3,44	-3,46	15,623
	-50%	24	-3,61	-3,69	15,262
Nedbør	+ 50%	74	-2,46	-2,67	17,536
	+ 25%	67	-2,7	-2,83	17,101
	+ 10%	64	-2,74	-2,82	16,876
	-10%	51	-2,78	-2,79	16,568
	-25%	45	-2,82	-2,84	16,271
	-50%	30	-2,91	-2,93	15,775
Temperatur	+ 50%	70	-2,58	-2,7	17,632
	+ 25%	54	-2,68	-2,78	17,170
	+ 10%	47	-2,73	-2,8	16,905
	-10%	57	-2,79	-2,86	16,579
	-25%	33	-2,84	-2,87	16,343
	-50%	35	-2,9	-2,92	15,980

Konvergensfeil og balanse for simuleringene i sensitivitetsanalysen for simulert tilfelle med fuktkilde implementert.

F.4.2 Tallverdigrunnet bak sensitivitetdiagrammene

	Temperatur						
	-50%'	-25%'	-10%'	0 %	+10%'	+25%'	+50%'
Middel VI (OSB) [M-%]	14,800	15,159	15,376	15,526	15,673	15,910	16,324
%-vis endring fra ref	-4,67	-2,36	-0,96	0,00	0,95	2,47	5,15

(a) Temperatur (simulert tilfelle uten fuktkilde)

	Relativ fuktighet (RF)						
	-50%'	-25%'	-10%'	0 %	+10%'	+25%'	+50%'
Middel VI (OSB) [M-%]	13,550	14,288	14,924	15,526	15,928	16,207	16,468
%-vis endring fra ref	-12,73	-7,97	-3,88	0,00	2,59	4,39	6,07

(b) Relativ fuktighet (simulert tilfelle uten fuktkilde)

	Nedbør						
	-50%'	-25%'	-10%'	0 %	+10%'	+25%'	+50%'
Middel VI (OSB) [M-%]	15,177	15,379	15,493	15,526	15,534	15,551	15,615
%-vis endring fra referanse	-2,24	-0,94	-0,21	0,00	0,05	0,17	0,58

(c) Nedbør (simulert tilfelle uten fuktkilde)

	Vindhastighet						
	-50 %	-25 %	-10 %	0 %	10 %	25 %	50 %
Middel VI (OSB) [M-%]	15,177	15,379	15,493	15,526	15,534	15,551	15,615
% endring fra referanse	-2,24	-0,94	-0,21	0,00	0,05	0,17	0,58

(d) Vindhastighet (simulert tilfelle uten fuktkilde)

Sensitivitetsanalyse av gjennomsnittlig vanninnhold (VI) i OSB-platen i WUFI Pro, ved tilfellet uten fuktkilde.

	Temperatur						
	-50%'	-25%'	-10%'	0 %	+10%'	+25%'	+50%'
Middel VI (OSB) [M-%]	15,980	16,343	16,579	16,728	16,905	17,170	17,632
%-vis endring fra referanse	-4,47	-2,30	-0,89	0,00	1,06	2,64	5,40

(a) Temperatur (simulert tilfelle med fuktkilde)

	Relativ fuktighet (RF)						
	-50%'	-25%'	-10%'	0 %	+10%'	+25%'	+50%'
Middel VI (OSB) [M-%]	15,262	15,623	16,113	16,728	17,260	17,655	18,061
%-vis endring fra referanse	-8,77	-6,60	-3,68	0,00	3,18	5,54	7,97

(b) Relativ fuktighet (simulert tilfelle med fuktkilde)

	Nedbør						
	-50%'	-25%'	-10%'	0 %	+10%'	+25%'	+50%'
Middel VI (OSB) [M-%]	15,775	16,271	16,568	16,728	16,876	17,101	17,536
%-vis endring fra referanse	-5,70	-2,73	-0,96	0,00	0,88	2,23	4,83

(c) Nedbør (simulert tilfelle med fuktkilde)

	Vindhastighet						
	-50%'	-25%'	-10%'	0 %	+10%'	+25%'	+50%'
Middel VI (OSB) [M-%]	15,775	16,271	16,569	16,728	16,876	17,113	17,535
%-vis endring fra referanse	-5,70	-2,73	-0,95	0,00	0,88	2,30	4,82

(d) Vindhastighet (simulert tilfelle med fuktkilde)

Sensitivitetsanalyse av gjennomsnittlig vanninnhold (VI) i OSB-platen i WUFI Pro, ved tilfellet med fuktkilde.

G Resultater fuktsimuleringer for seks geografiske plasser

G.1 Konvergensfeil og fuktbalanse

Uten fuktkilde		[kg/m²]			[M-%]	
					Middel vanninnhold OSB plate	Middel muggvekstindeks ytterkant OSB
	By	Antall konvergensfeil	Balanse 1	Balanse 2		
1	Karasjok	47	-3	-3	13,40	0,0000
2	Værnes	16	-2,83	-2,83	14,73	0,0000
3	Oslo	7	-3,06	-3,07	13,12	0,0003
4	Trondheim	12	-2,51	-2,51	15,46	0,0127
5	Bergen	38	-2,08	-2,1	16,17	0,1162
6	Kristiansund	15	-2,34	-2,27	16,14	0,1463

(a) Uten fuktkilde

Med fuktkilde		[kg/m²]			[M-%]	
					Middel vanninnhold OSB	Middel muggvekstindeks ytterkant OSB
	By	Antall konvergensfeil	Balanse 1	Balanse 2		
1	Karasjok	46	-2,98	-2,99	13,51	0,0000
2	Værnes	578	-2,6	-2,54	16,66	0,5994
3	Oslo	9	-2,9	-2,92	14,02	0,0008
4	Trondheim	642	-1,8	-1,8	18,90	1,9734
5	Bergen	479	-0,27	-0,18	22,44	2,7978
6	Kristiansund	339	-0,48	-0,43	20,61	2,6404

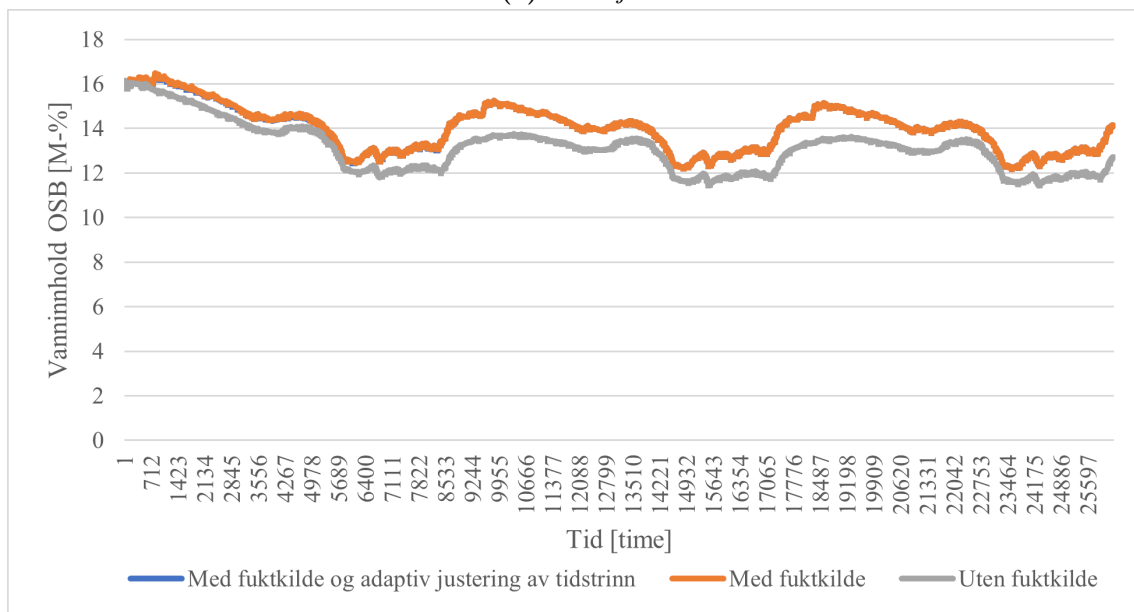
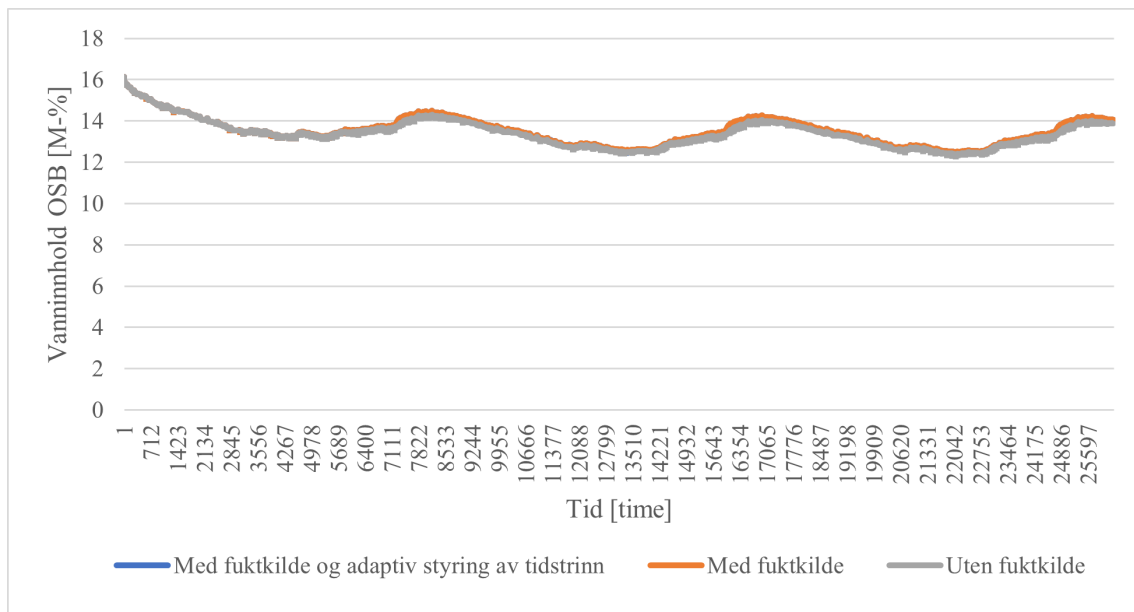
(b) Med fuktkilde

Adaptiv styring av tidstrinn på		[kg/m²]			[M-%]	
					Middel vanninnhold OSB	Middel muggvekstindeks ytterkant OSB
	By	Antall konvergensfeil	Balanse 1	Balanse 2		
1	Karasjok	0	-2,98	-2,98	13,51	0,0000
2	Værnes	0	-2,6	-2,58	16,63	0,5709
3	Oslo	0	-2,9	-2,89	14,02	0,0007
4	Trondheim	0	-1,85	-2,12	18,83	1,9360
5	Bergen	0	-0,28	-0,05	22,06	2,7659
6	Kristiansund	0	-0,48	-0,53	20,53	2,6251

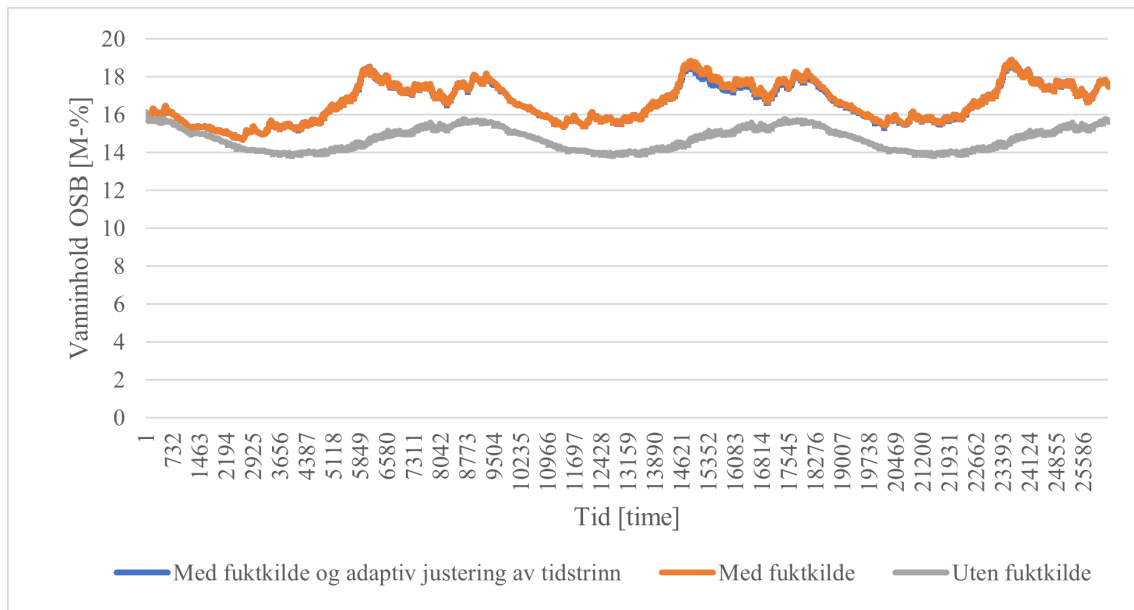
(c) Med fuktkilde og adaptiv justering av tidstrinn

Konvergensfeil og fuktbalanse fra simuleringene av de seks byene, uten fuktkilde, med fuktkilde, og med fuktkilde med adaptiv justering av tidstrinn.

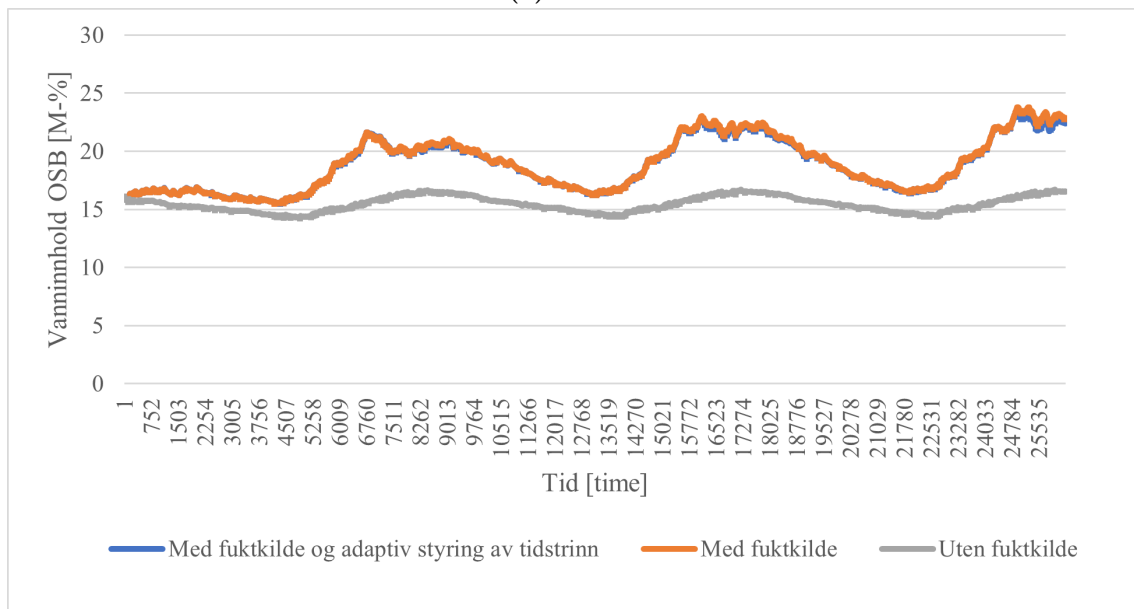
G.2 Grafisk fremstilling av vanninnhold (VI) i OSB-plate



Vanninnhold [M-%] i OSB-platen fra fuktsimuleringene i WUFI Pro. Alle tre simulerings-tilfellene uten fuktkilde, med fuktkilde, samt kontroll av tilfellet med fuktkilde med adaptiv justering av tidstrinn inkludert.

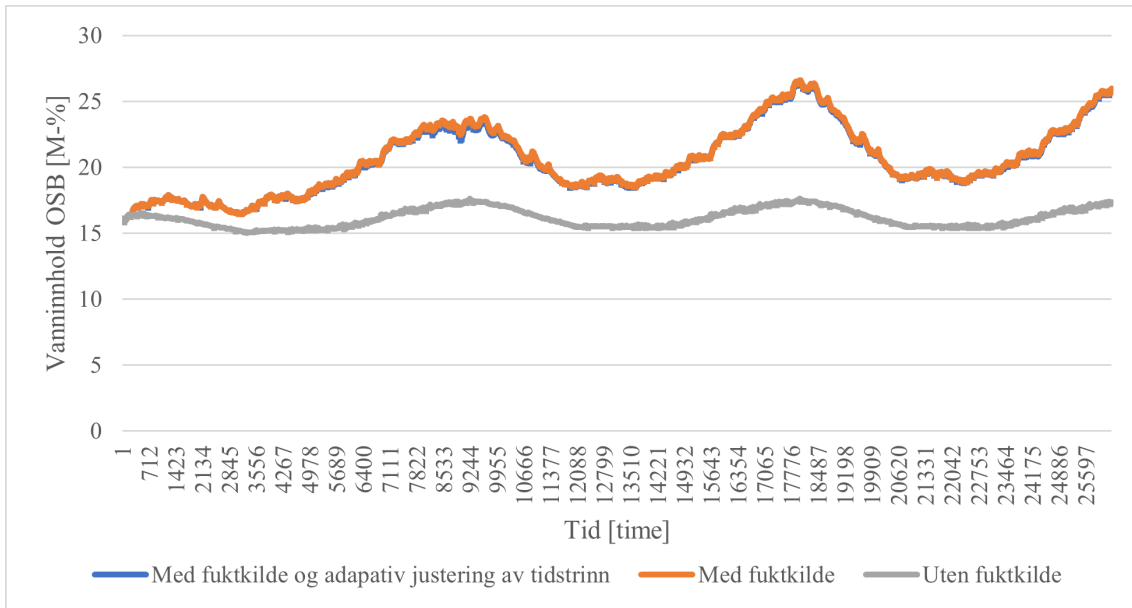


(a) Værnes

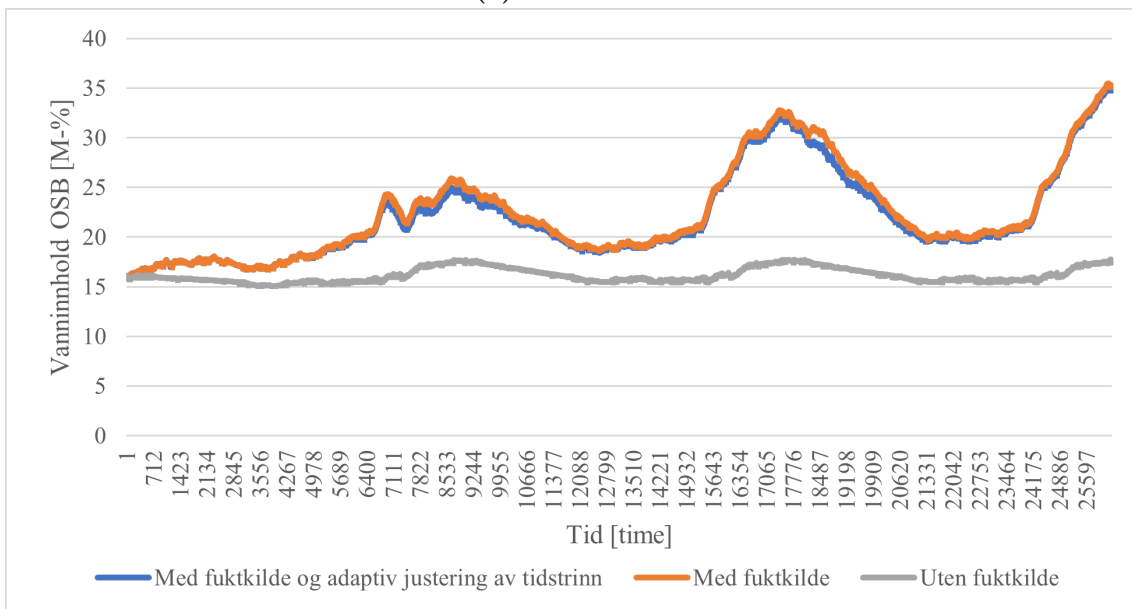


(b) Trondheim

Vanninnhold [M-%] i OSB-platen fra fuktsimuleringene i WUFI Pro. Alle tre simuleringstilfellene uten fuktkilde, med fuktkilde, samt kontroll av tilfellet med fuktkilde med adaptiv justering av tidstrinn inkludert.



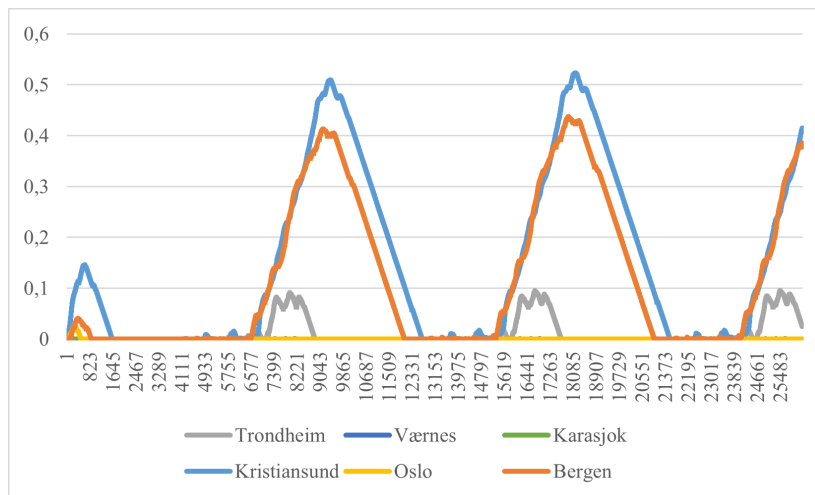
(a) *Kristiansund*



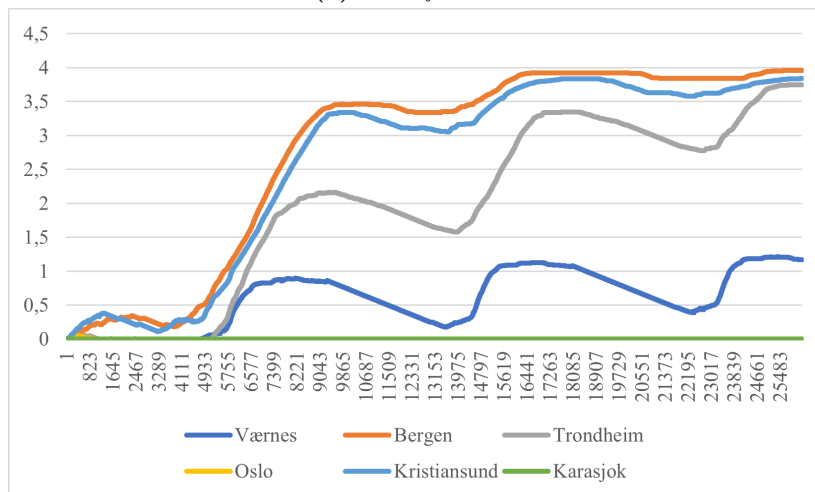
(b) *Bergen*

Vanninnhold [M-%] i OSB-platen fra fuktsimuleringene i WUFI Pro. Alle tre simuleringstilfellene uten fuktkilde, med fuktkilde, samt kontroll av tilfellet med fuktkilde med adaptiv justering av tidstrinn inkludert.

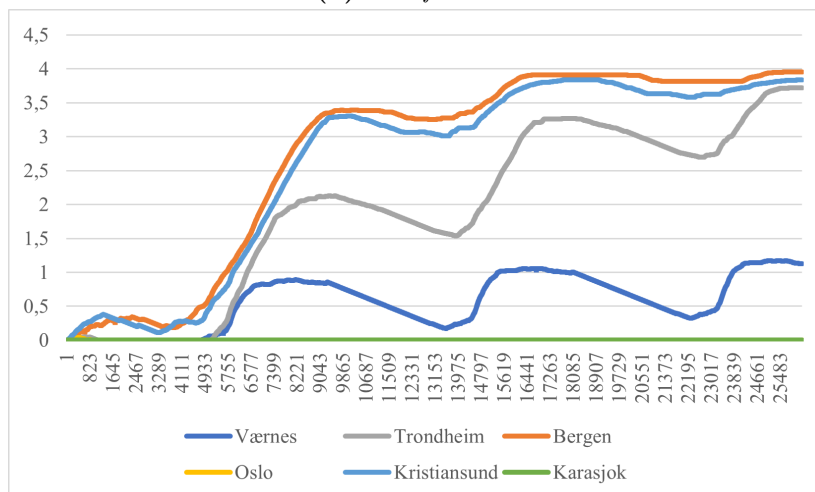
G.3 Grafisk fremstilling av muggvekstindeks (MuI) fra VVT-modellen



(a) Uten fuktkilde



(b) Med fuktkilde



(c) Med fuktkilde og adaptiv justering av tidstrinn

Muggvekstindeks i ytterkant av OSB-platen fra fuktsimuleringene i WUFI Pro. Alle tre simuleringstilfellene uten fuktkilde, med fuktkilde, samt kontroll av tilfellet med fuktkilde med adaptiv justering av tidstrinn inkludert.

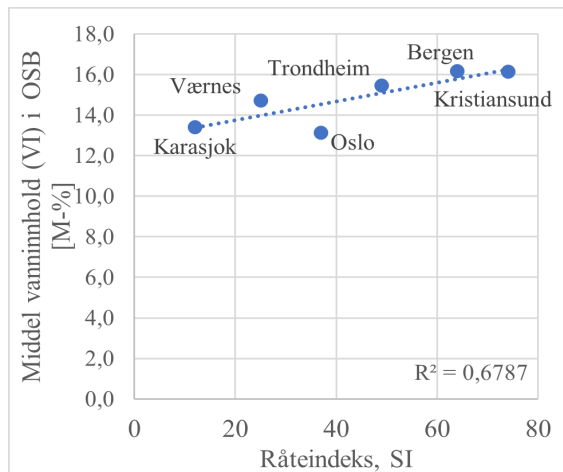
G.4 Korrelasjon fuktindekser og fuktindikatorer

G.4.1 Beregnet tallverdigrunnlag for korrelasjonsdiagram og -koeffisienter

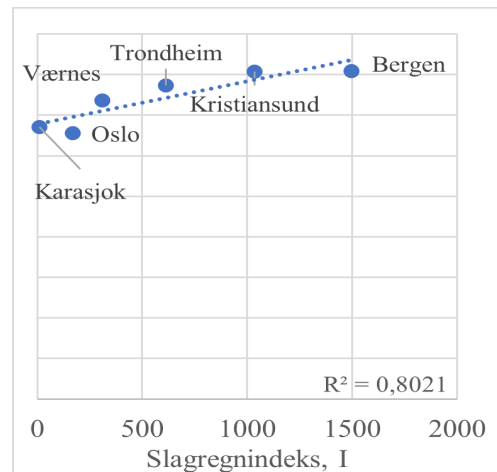
By	Rateindeks	Slagregndeks	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5 (slagregn)	Med fuktkilde		Uten fuktkilde		Adaptiv tidsstyring	
								Middel vanninnhold OSB	Middel mengdevekst ytterkant OSB	Middel vanninnhold OSB	Middel mengdevekst ytterkant OSB	Middel vanninnhold OSB	Middel mengdevekst ytterkant OSB
1 Karasjok	12	11	0,65	0,63	0,63	0,99	0,62	13,51	0,00	13,40	0,0000	13,51	0,0000
2 Værnes	25	310	0,63	0,52	0,45	0,66	0,46	16,66	0,60	14,73	0,0000	16,63	0,5709
3 Oslo	37	168	0,53	0,35	0,22	0,16	0,11	14,02	0,00	13,12	0,0003	14,02	0,0007
4 Trondheim	49	613	1,25	0,95	0,77	1,08	0,75	18,90	1,97	15,46	0,0127	18,83	1,9360
5 Bergen	64	1496	2,42	1,63	1,04	1,11	1,04	22,44	2,80	16,17	0,1162	22,06	2,7659
6 Kristiansund	74	1035	1,14	0,85	0,67	0,92	0,87	20,61	2,64	16,14	0,1463	20,53	2,6251

Beregnet tallgrunnlag for korrelasjonsdiagrammene og korrelasjonskoeffisientene.

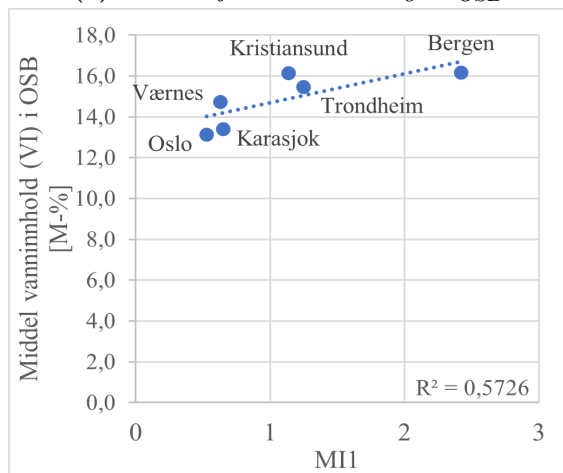
G.4.2 Korrelasjonsdiagram for simulert tilfelle uten fuktkilde



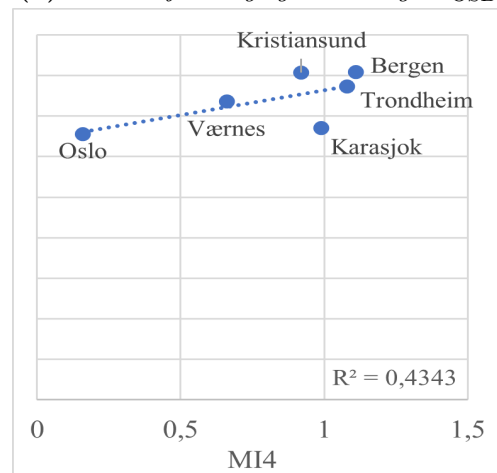
(a) Korrelasjon råteindeks og VI_{OSB}



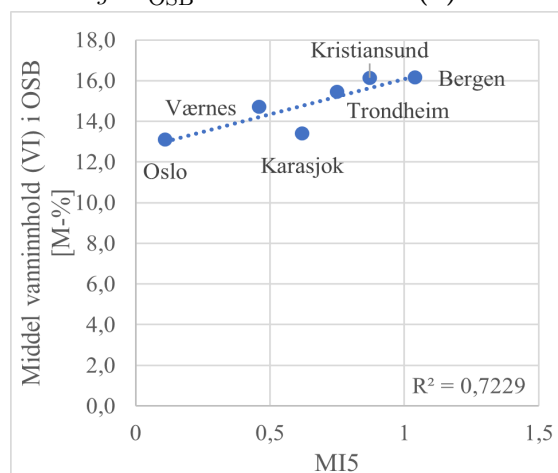
(b) Korrelasjon slagregnindeks og VI_{OSB}



(c) Korrelasjon $MI1$ og VI_{OSB}



(d) Korrelasjon $MI4$ og VI_{OSB}



(e) Korrelasjon $MI5$ og VI_{OSB}

Forholdet mellom gjennomsnittlig vanninnhold i OSB-platen (VI), og SI , I_{θ} , $MI1$, $MI4$ og $MI5$ hver for seg. Simulert tilfelle uten fuktkilde implementert i det vanntette sjiktet utenfor OSB-platen. Y-aksen er lik for alle diagrammene. Den blå stiplede linjen illustrerer den lineære trenden til rangeringen av byene.

G.4.3 Korrelasjonskoeffisienter mellom fuktindekser og fuktindikatorer

Simulering	SI		I		M11		M12		M13		M14		M15 (slagregn)	
	R	R2	R	R2	R	R2	R	R2	R	R2	R	R2	R	R2
Fuktindikator														
Middel Mul ytterkant OSB	0.88	0.77	0.88	0.77	0.67	0.45	0.66	0.43	0.55	0.35	0.43	0.18	0.74	0.54
Middel V1 i OSB	0.82	0.68	0.90	0.80	0.76	0.57	0.77	0.59	0.76	0.57	0.66	0.43	0.85	0.72
Med fuktkilde														
Middel Mul ytterkant OSB	0.91	0.82	0.94	0.89	0.83	0.68	0.82	0.68	0.79	0.62	0.64	0.41	0.86	0.74
Middel V1 i OSB	0.87	0.76	0.97	0.94	0.87	0.75	0.85	0.73	0.78	0.61	0.59	0.35	0.83	0.70
Adaptiv fuktstyring pa														
Middel Mul ytterkant OSB	0.91	0.83	0.94	0.89	0.83	0.68	0.82	0.68	0.79	0.62	0.64	0.41	0.86	0.74
Middel V1 i OSB	0.88	0.77	0.97	0.93	0.85	0.73	0.84	0.71	0.77	0.60	0.59	0.35	0.83	0.69

R (=KORRELASJON)
R² (=KKVADRAT)

Beregnet korrelasjonskoeffisienter for sammenligning av fuktindekser og fuktindikatorer.

